

Vlaamse
overheid

Water+
Land+
Schap



Gefinancierd door
de Europese Unie
NextGenerationEU



Sumaqua

NACALCULATIE WASGEBEURTENIS IJZER NOV/2023 EN ANALYSE MAATREGELEN IN KADER VAN TASKFORCE WEERBARE WESTHOEK

Studie uitgevoerd in opdracht van:



Medegefinancierd door:



Disclaimer

Sumaqua en diegenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van kennis en wetenschap. Desondanks kunnen zich onjuistheden in deze publicatie bevinden. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan. Sumaqua sluit, mede ten behoeve van hen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

DOCUMENTIDENTIFICATIE

Titel	Nacalculatie wasgebeurtenis IJzer nov/2023 en analyse maatregelen in kader van Taskforce Weerbare Westhoek
Opdrachtgever	Vlaamse Landmaatschappij (in samenwerking met De Vlaamse Waterweg en Provincie West-Vlaanderen)
Depotnummer	D/2026/3241/188

REVISIES

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	13/06/2025	Eerste draft versie
2.0	26/08/2025	Eerste revisie
2.1	04/09/2025	Tweede revisie
3.0	17/12/2025	Uitbreiding na extra onderzoeksvragen
3.1	19/01/2026	Finale revisie

CONTACT

Contactpersoon	dr. ir. PIETER MEERT Mail: pieter.meert@sumaquab.be
Correspondentieadres	Sumaquab Tiensesteenweg 28 3001 Leuven, BELGIUM

INHOUD

Samenvatting	1
1 Inleiding.....	17
1.1 Context	17
1.2 Onderzoeksvragen	17
1.3 Leeswijzer	18
2 Simulatie hoogwaterperiode Nov/2023.....	19
2.1 Inleiding	19
2.2 Opbouw model nacalculatie	19
2.3 Resultaten nacalculatie nov/2023	22
2.4 Analyse volumeverdeling	27
2.5 Impact zeespiegelstijging	30
2.6 Impact doodtij	35
2.7 Conclusies en aanbevelingen	37
3 Opmaak scenario's voor analyse maatregelen	39
3.1 Inleiding	39
3.2 Historische gebeurtenissen	39
3.3 Klimaatverandering	45
4 Analyse impact maatregelen	49
4.1 Inleiding	49
4.2 Bouwsteen 1: Afvoercapaciteit IJzer in Nieuwpoort vergroten	49
4.2.1 Impact bijkomende pompcapaciteit Ganzepoot t.t.v. november 2023	49
4.2.2 Bijkomende pompcapaciteit IJzer	50
4.2.3 Inzet stormvloedkering.....	52
4.2.4 Spuien via Kreek van Nieuwendamme	55
4.2.5 Conclusies	58
4.3 Bouwsteen 2: Afvoercapaciteit IJzer vergroten	59
4.3.1 Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide	60
4.3.2 Inrichting IJzer als perskanaal	62
4.3.3 Conclusies	64
4.4 Bouwsteen 3: Afvoercapaciteit Lokanaal vergroten	65
4.4.1 Bijkomende pompcapaciteit Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort	65
4.4.2 Verhoging maximaal peil Lokanaal	68
4.4.3 Baggerwerken Lokanaal	71

4.4.4	Conclusies	74
4.5	Bouwsteen 4: Afvoer pand Duinkerke – Veurne (Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort)	74
4.5.1	Impact Vannes de Furnes	75
4.5.2	Bijkomende afvoerweg	76
4.5.3	Extra pompcapaciteit in Veurne	83
4.5.4	Conclusies	86
4.6	Bouwsteen 5: Ruimte voor water	87
4.6.1	Piekbergingszone	87
4.6.2	Conclusies	90
4.7	Bouwsteen 6: Bovenloop IJzer	91
4.8	Combineerbaarheid bouwstenen	92
5	Opmaak overstromingskaarten	95
5.1	Inleiding en aanpak	95
5.2	Impact klimaatverandering	96
5.2.1	Zeespiegelstijging	96
5.2.2	Zeespiegelstijging en toename debieten	97
5.3	Getroffen infrastructuur	99
5.3.1	Getroffen gebouwen	99
5.3.2	Bereikbaarheid en getroffen wegen	102
5.4	Conclusies	104
6	Conclusies en aanbevelingen	105
	Referenties	111

SAMENVATTING

Inleiding

Dit rapport bundelt de onderzoeksresultaten van een scenario analyse die uitgevoerd werd in het kader van het advies van de Taskforce Weerbare Westhoek. Het doel van het onderzoek was enerzijds een modelmatige nacalculatie van de hoogwaterperiode van november 2023 en anderzijds het bestuderen van een aantal maatregelen die kunnen bijdragen aan het verminderen van het overstromingsrisico langs de IJzer. De onderzoeksresultaten kunnen helpen bij het opstellen van een meerjarenplan voor het IJzerbekken en geven advies over het al dan niet meenemen van de onderzochte maatregelen. De focus lag hierbij voornamelijk op de het inschatten van de hydraulische impact van de maatregelen, nl. in welke mate ze de waterpeilen op de IJzer kunnen laten dalen.

De eerste stap van het onderzoek omvatte een modelmatige nacalculatie van de recente hoogwaterperiode van november 2023. In deze nacalculatie werd de werkelijk opgetreden situatie zo goed mogelijk nagebootst in het hydraulische model, inclusief de op het terrein uitgevoerde maatregelen. De resultaten van de nacalculatie tonen aan dat het model in staat is om het gedrag van de IJzer, het Lokanaal en andere verbonden kanalen ten tijde van november 2023 te simuleren. Bij het evalueren van de simulatieresultaten bleek er wel nog sprake te zijn van een systematische, maar aanvaardbare overschatting van de waterpeilen ten opzichte van de metingen. Deze afwijkingen waren groter voor het opwaartse gedeelte van de IJzer dan voor het afwaartse. Aansluitend op de nacalculatie werd ook nog een inschatting gemaakt van wat er gebeurd zou zijn in geval van een zeespiegelstijging of bij een meer nadelige situatie rond doodtij.

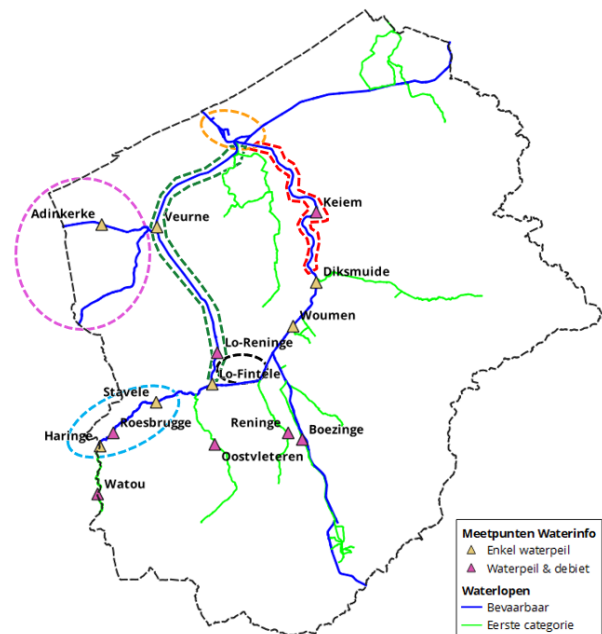
In de tweede fase van het onderzoek werden een aantal maatregelen om het overstromingsrisico te verminderen bestudeerd. Bij het bestuderen van de voorgestelde maatregelen werden meerdere events beschouwd, in plaats van enkel de hoogwaterperiode van november 2023. Het gebruik van meerdere events laat toe om te bestuderen wat de impact van de maatregelen is onder verschillende condities. Zo kan rekening gehouden worden met gemiddelde of uitzonderlijke gebeurtenissen en met de verschillende reacties van het opwaartse en afwaartse gebied. De hierbij geselecteerde hoogwaterperiodes zijn december 1993, november 2009, november 2021 en november 2023 (in chronologische volgorde). Op deze historische periodes werd ook nog de invloed van klimaatverandering toegevoegd, om de invloed van zeespiegelstijging en stijgende debieten mee op te nemen in de analyses.

De bouwstenen

Vervolgens werden de voorgestelde maatregelen geïmplementeerd in het hydraulische model en doorgerekend voor de geselecteerde scenario's. Aangezien er heel wat maatregelen bestudeerd zijn, werd getracht om via bouwstenen een overzicht te creëren in de veelheid aan maatregelen. Per bouwsteen zijn maatregelen terug te vinden met een gelijkaardige locatie of doel en die meestal ook tot een gelijkaardige impact leiden. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de zes beschouwde bouwstenen en hun veralgemeende locatie in het netwerk.

Bouwstenen

- 1) Afvoercapaciteit IJzer in Nieuwpoort vergroten
- 2) Afvoercapaciteit IJzer vergroten
- 3) Afvoercapaciteit Lokanaal vergroten
- 4) Bijkomende afvoerweg kanaal Duinkerke – Nieuwpoort (pand Duinkerke-Veurne naar zee)
- 5) Ruimte voor water
- 6) Bovenloop IJzer



De impact van de bestudeerde maatregelen werd voornamelijk begroot op basis van de maximale waterpeilen op de IJzer en het Lokanaal. Telkens werd een vergelijking gemaakt van de maxima na toepassing van de maatregelen en de maxima in huidige toestand. Er werd ook gekeken naar de invloed van een zeespiegelstijging om de robuustheid van de maatregel te beoordelen. Gelet dat deze studie mee een basis vormt voor een planning op (middel)lange termijn is dit essentieel.

Hieronder volgt een overzichtstabel waarin getracht is om per onderzochte maatregel de belangrijkste conclusies uit het onderzoek samen te vatten. Per maatregel zijn de volgende zaken opgenomen in de tabel:

- Bouwsteen waartoe de maatregel behoort.
- Korte beschrijving van de belangrijkste impacts (Wat? Waar? Wanneer?)
- De invloed van zeespiegelstijging op de effectiviteit van de maatregel
- Korte samenvatting van de opmerkingen die geformuleerd werden tijdens de overlegmomenten met de begeleidingsgroep van deze opdracht.
- Een samenvattende conclusie of advies over de maatregel.
- Gemiddelde daling van de maximale waterpeilen op de IJzer, over verschillende events. Dit overzicht bevindt zich achteraan deze samenvatting.

De lijst met onderzochte maatregelen, in het overzicht hieronder, werd bepaald in nauw overleg met de opdrachtgevers van deze studie. Dit betekent niet noodzakelijk dat er geen andere maatregelen mogelijk zijn of overwogen kunnen worden. Alternatieve maatregelen of varianten kunnen voorwerp vormen van verder onderzoek.

De bevindingen

Een belangrijk inzicht is dat geen van de onderzochte maatregelen als dé oplossing geldt om het overstromingsrisico langs de IJzer drastisch te reduceren. De meest effectieve maatregelen zijn in staat om de maximale waterpeilen 10 tot 15 cm te doen dalen. Dit kan het verschil betekenen tussen kritieke en niet-kritieke wateroverlast, maar betekent vermoedelijk geen drastische reductie van de getroffen oppervlakte of de geïmpacteerde infrastructuur. We gaan er van uit dat een combinatie van maatregelen noodzakelijk zal zijn om dit te bewerkstelligen. Finaal werd ook nog onderzocht of het gecombineerde effect van maatregelen even doeltreffend is als de som van individuele impacts. Dit bleek het geval te zijn.

Bouwsteen 1: Afvoercapaciteit IJzer in Nieuwpoort vergroten

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Bijkomende pompcapaciteit aan de Iepersluis (t.o.v. huidige toestand)	➤ Daling maximale waterpeilen IJzer ➤ Impact vooral zichtbaar afwaarts van Diksmuide ➤ Impact op bovenloop lijkt verwaarloosbaar ➤ Daling waterpeilen is lineair evenredig met pompcapaciteit	➤ Maatregel ondervindt geen nadelig invloed zeespiegelstijging ➤ Impact neemt licht toe bij grote stijgingen zeespiegel	➤ Pompen zijn vermoedelijk enkel nodig in uitzonderlijke gevallen ➤ Zeer grote capaciteiten nodig om in binnenland een wezenlijk verschil te maken ➤ Belangrijkste invloedzone is ingedijkt en dus minder kwetsbaar voor overstromingen	➤ Meerwaarde van bijkomende pompcapaciteit lijkt beperkt te zijn
Inzet van de stormvloedkering in Nieuwpoort	➤ Daling maximale waterpeilen IJzer ➤ Impact vooral zichtbaar afwaarts van Diksmuide ➤ Impact op bovenloop lijkt verwaarloosbaar ➤ Meerdere sluitingen na elkaar nodig om een wezenlijk verschil te maken ➤ Vergelijkbaar met een bijkomende pomp van 20 m³/s.	➤ Mogelijks lichte daling van de impact bij grote stijgingen van de zeespiegel	➤ Relatief eenvoudig realiseerbaar ➤ Aantal voorziene sluitingen van kering is beperkt. Momenteel onbekend in welke mate vermoeiing een rol zal spelen. ➤ Sluiting kering heeft een impact op de scheepvaart.	➤ Lijkt nuttige maatregel indien kostprijs laag blijft. ➤ Impact mag echter niet overschat worden ➤ Inzet kering lijkt eerder een noodmaatregel dan een structurele maatregel

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Spuien via de Kreek van Nieuwendamme	➤ Daling maximale waterpeilen IJzer ➤ Impact vooral zichtbaar afwaarts van Diksmuide ➤ Impact op bovenloop lijkt verwaarloosbaar ➤ Vergelijkbaar met een bijkomende pomp van 10 m³/s. ➤ Beperkte impact op Kreek van Nieuwendamme	➤ Mogelijks lichte toename van de impact bij grote stijgingen van de zeespiegel	➤ Vereist nieuwe verbinding tussen IJzer en Kreek van Nieuwendamme ➤ Impact op Kreek van Nieuwendamme is afhankelijke van aansturing nieuwe verbinding	➤ Maatregel leidt slechts tot beperkte toename afvoer in Nieuwpoort. ➤ Maatregel wordt interessanter bij zeespiegelstijging

Bouwsteen 2: Afvoercapaciteit IJzer vergroten

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide (op volledige diepte)	➤ Daling maximale waterpeilen IJzer ➤ Grootste impact ter hoogte van De Blankaart ➤ Impact daalt naar opwaarts en afwaarts (t.o.v. De Blankaart)	➤ Maatregel minder effectief bij zeespiegelstijging	➤ Mogelijke toename waterbeschikbaarheid in zomermaanden ➤ Permanente maatregel: zal impact hebben op kleine en grote events ➤ Ruimtelijke impact door herinrichting zone rond IJzer. Niet combineerbaar met ander landgebruik.	➤ Interessante maatregel ➤ Verder onderzoeken
Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide (verbreding winterbed, boven normaalpeil)	➤ Verwaarloosbare impact op maximale waterpeilen	➤ Niet verder onderzocht	➤ Niet van toepassing	➤ Niet verder onderzocht omwille van beperkte impact. ➤ Niet verder weerhouden.
Inrichting IJzer als perskanaal (afwaarts Diksmuide)	➤ Daling maximale peilen opwaarts pompstation ➤ Stijging maximale waterpeilen afwaarts pompstation	➤ Niet verder onderzocht	➤ Hoge technische complexiteit ➤ Impact op scheepvaart ➤ Vermoedelijk ook grote landschappelijke impact	➤ Niet verder onderzocht in dit onderzoek omwille van grote benodigde pompcapaciteit en mogelijke verhoging dijken afwaarts Diksmuide

Bouwsteen 3: Afvoercapaciteit Lokanaal vergroten

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Extra pompcapaciteit aan Veurnesluis in Nieuwpoort (t.o.v. huidige toestand)	➤ Daling maximale waterpeilen ➤ Impact is grootst nabij Nieuwpoort, maar daalt naar opwaarts ➤ Beperkte daling waterpeilen IJzer	➤ Zeespiegelstijging heeft geen negatieve invloed op effect maatregel	➤ Gravitaire afvoer via Veurnestuw zal dalen als gevolg van zeespiegelstijging. Extra pompen op termijn mogelijks noodzakelijk om dit op te vangen. ➤ Bijkomende capaciteit kan mogelijks ook gerealiseerd worden via Dierendoncksluis en Veurne-Ambacht gemaal (te onderzoeken)	➤ Meerwaarde extra pompcapaciteit blijft beperkt zonder verhoging maximaal peil in Fintele ➤ Te bekijken in combinatie met andere maatregelen
Verhoging maximaal peil Lokanaal	➤ Toename afvoer via Lokanaal ➤ Daling maximale peilen IJzer ➤ Impact op IJzer grootst nabij Fintele. Impact daalt naar opwaarts. Beperkte daling naar afwaarts	➤ Impact maatregel daalt bij stijgende zeespiegel (na 2050)	➤ Lokanaal blijft snelste weg naar zee (vanuit bovenloop) ➤ Kan ook leiden tot een toename van de waterbeschikbaarheid in zomermaanden ➤ Technische knelpunten t.h.v. bruggen en dijken verder te onderzoeken	➤ Interessante maatregel. ➤ Verder te onderzoeken.

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Onderhoudsbaggerwerken Lokanaal	➤ Toename afvoersectie Lokanaal ➤ Toename afvoer vanuit IJzer via Lokanaal ➤ Kleine daling maximale peilen IJzer ➤ Toename maximale peilen Lokanaal. Toename stijgt naar afwaarts	➤ Impact maatregel daalt bij zeespiegelstijging (na 2050)	➤ Verhouding tussen extra afgevoerd volume en daling waterpeilen IJzer vergelijkbaar met andere maatregelen ➤ Toename maximale peilen op Lokanaal vermoedelijk niet problematisch	➤ Nuttige maatregel ➤ Impact echter niet overschatten.

Bouwsteen 4: Bijkomende afvoerweg Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort (pand Duinkerke – Veurne naar zee)

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Kokers vanuit kanaal richting zee (nieuwe gravitaire afvoerweg naar zee)	➤ Daling maximale waterpeilen pand Duinkerke – Veurne ➤ 2 kokers van 2 m diameter zijn nodig om capaciteit Vannes de Furnes te bekomen.	➤ Impact maatregel daalt bij zeespiegelstijging (vanaf ca. 2050) ➤ Tijdens doortijd geen afvoer mogelijk bij grote stijging zeespiegel (na 2100)	➤ Maatregel vooral zinvol voor lokale afwatering ➤ Maatregel ook zinvol om Lokanaal te ontlasten om afvoer van IJzer mogelijk te maken ➤ Realisatie is technisch en juridisch niet evident	➤ Te overwegen in functie van lokale waterafvoer. ➤ Meerwaarde op IJzer lijkt beperkt
Kokers vanuit kanaal richting zee, inclusief pompstation	➤ Verdere daling maximale waterpeilen pand Duinkerke – Veurne	➤ Impact veel minder afhankelijk van zeespiegelstijging ➤ Inzet pompstation neemt toe bij zeespiegelstijging en dus ook impact maatregel	➤ Zie hierboven	➤ Te overwegen in functie van lokale waterafvoer. ➤ Meerwaarde op IJzer lijkt beperkt
Gecombineerde inzet Vannes de Furnes en bijkomende kokers	➤ Daling maximale waterpeilen pand Duinkerke – Veurne ➤ Optie om bijkomend water vanuit IJzer naar zee te voeren. Impact op IJzer blijft wel beperkt	➤ Niet expliciet onderzocht	➤ Vereist verschillende realisaties en sturingsregels om dit goed te laten verlopen. ➤ Niet interessant zonder hoger peil op Lokanaal	➤ Meerwaarde van complexe maatregel lijkt te beperkt.

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Bijkomende pompcapaciteit aan Nieuwpoortsluis in Veurne	➤ Daling maximale waterpeilen pand Duinkerke-Veurne ➤ Hogere waterpeilen in pand Veurne - Nieuwpoort ➤ Stremming afvoer vanuit IJzer via Lokanaal.	➤ Niet expliciet onderzocht	➤ Effect extra pompcapaciteit vergelijkbaar met effect kokers. ➤ Waterbeheersing pand Duinkerke-Veurne haalbaar zonder afvoer in Duinkerke ➤ Idealiter te combineren met extra maatregelen in Nieuwpoort	➤ Vooral interessant in functie van lokale waterafvoer. ➤ Beperkte impact op IJzer
Gecombineerde inzet Vannes de Furnes en bijkomende pompcapaciteit Veurne	➤ Daling maximale waterpeilen pand Duinkerke – Veurne ➤ Optie om bijkomend water vanuit IJzer via Lokanaal af te voeren ➤ Zwaardere belasting Lokanaal	➤ Niet expliciet onderzocht	➤ Vermijdt dat Lokanaal tijdelijke niet aan volledige capaciteit kan ingezet worden	➤ Vooral interessant in functie van lokale waterafvoer. ➤ Beperkte positieve impact op IJzer

Bouwsteen 5: Ruimte voor water

Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Inzet van een piekbergingszone	➤ Daling maximale waterpeilen IJzer ➤ Daling is grootst nabij Blankaart ➤ Impact daalt naar opwaarts (naar 0) ➤ Impact daalt naar afwaarts (niet naar 0)	➤ Niet expliciet onderzocht, maar vermoedelijk beperkt ➤ Rekening mee gehouden bij begroten benodigde omvang maatregel	➤ Enkel inzet tijdens uitzonderlijke gevallen (mogelijks geen permanente wijziging landgebruik nodig) ➤ Inzet op gepaste moment is cruciaal Leegloop en impact op Westkustpolder niet in detail bestudeerd	➤ Interessante maatregel voor alle afwaarts gelegen gebieden ➤ Verder te onderzoeken

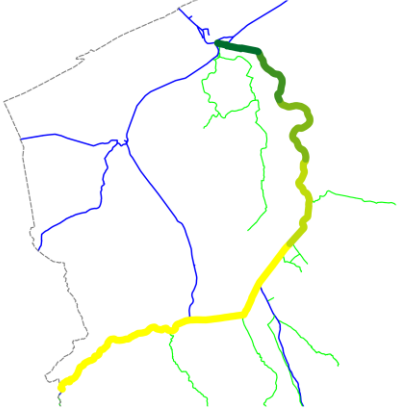
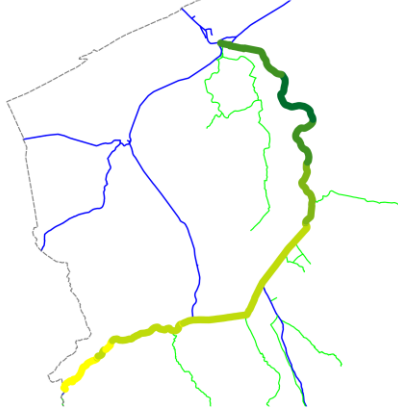
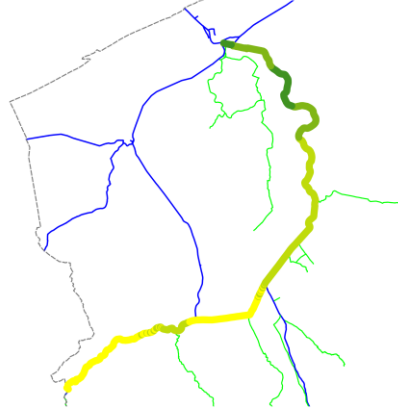
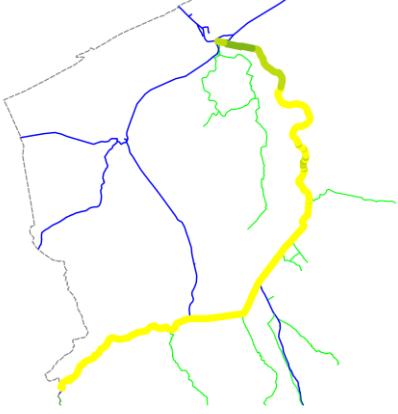
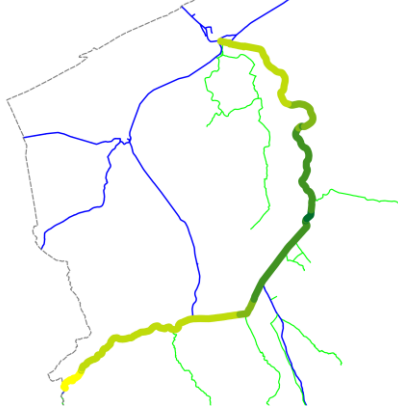
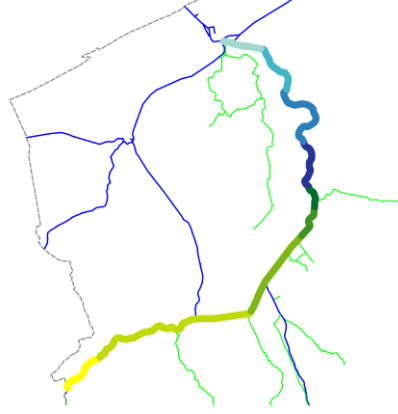
Bouwsteen 6: Bovenloop IJzer

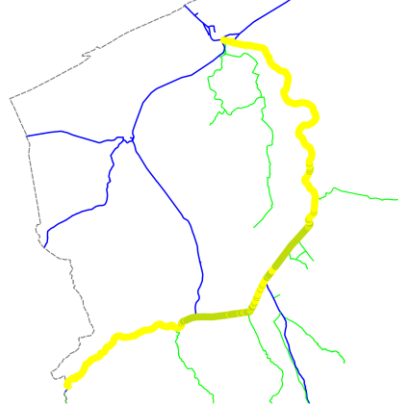
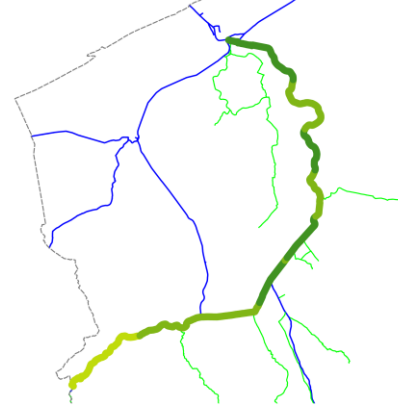
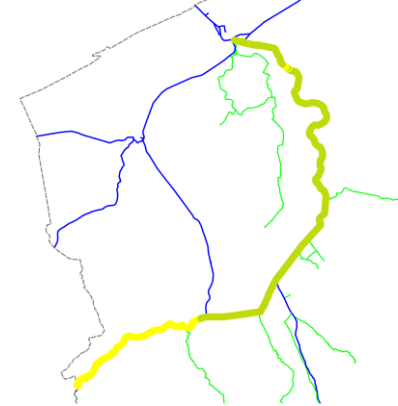
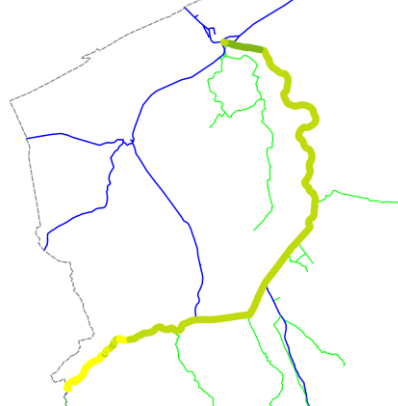
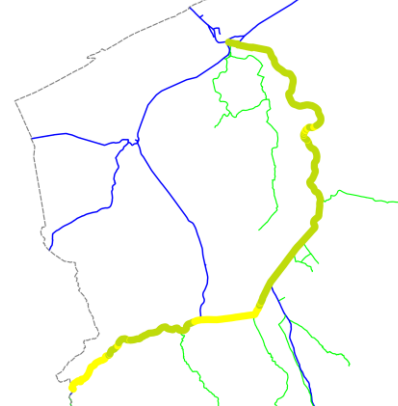
Voor de bovenloop IJzer (tussen Haringe, Roesbrugge en Fintele) werden geen aparte maatregelen onderzocht in dit onderzoek. De maatregelen die wel onderzocht werden, maar elders in het systeem gelegen zijn, hebben slechts een beperkte positieve impact op de waterpeilen in de bovenloop. Dit omdat ze allen verder afwaarts gelegen zijn. Voor de bovenloop werden in eerder onderzoek, in het kader van Weerbaar Water-Land-Schap, wel een aantal zaken onderzocht. Deze zaken worden kort aangehaald in § 4.7 en zijn hieronder ook samengevat.

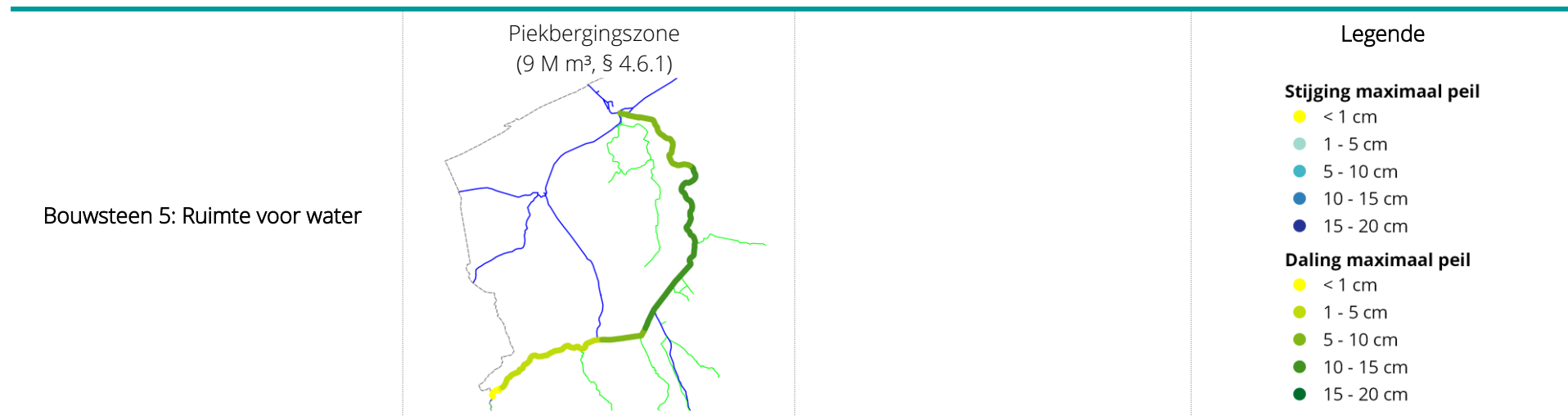
Maatregel	Impact maatregel	Invloed zeespiegelstijging	Bijkomende opmerkingen	Conclusie / advies
Kleinschalige bronmaatregelen	➤ Opvang en infiltratie van afstromend regenwater. ➤ Verhoging waterbeschikbaarheid in haarvaten systeem. ➤ Verwaarloosbare impact op hoogwaterperiodes in vallei benedenstrooms.	➤ Maatregel onafhankelijk van zeespiegelstijging.	➤ Onderdeel van het integraal waterbeleid ➤ No-regret maatregel ➤ Te extrapoleren naar opwaarts gedeelte watersysteem (zijlopen en haarvaten)	➤ Verdere uitrol in functie van Integrale Waterstrategie IJzer- en Handzamevallei ➤ Invloed niet in rekening brengen bij ontwerp van maatregelen i.k.v. overstromingen IJzer.
Bijkomende buffering op Frans grondgebied	➤ Aftoppen piekdebieten vanuit Frankrijk. ➤ Daling maximale peilen op bovenloop IJzer. ➤ Impact daalt naar afwaarts.	➤ Niet expliciet onderzocht.	➤ Opgevat als een hypothetische berekening ➤ Geen ruimtelijke uitwerking uitgevoerd	➤ Ruimtelijke uitwerking verder te onderzoeken.

Overzichtstabel 1: Daling maximale waterpeilen IJzer

Onderstaande tabel toont de gemiddelde daling van het maximale waterpeil voor de verschillende onderzochte maatregelen. De cijfers werden berekend als een gemiddelde daling over meerdere events en bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging. De figuren laten een vergelijking over de lengte van de IJzer en tussen de verschillende maatregelen toe.

Bouwsteen 1: Afvoercapaciteit IJzer in Nieuwpoort vergroten	Bijkomende pompcapaciteit Iepersluis (20 m³/s, § 4.2.2) 	Inzet stormvloedkering Nieuwpoort (§ 4.2.3) 	Spuien via Kreek van Nieuwendamme (§ 4.2.4) 
Bouwsteen 2: Afvoercapaciteit IJzer vergroten	Verbreding winterbed IJzer afwaarts Diksmuide (§ 4.3.1) 	Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide (8 m op volledige diepte, § 4.3.1) 	Inrichting IJzer als perskanaal afwaarts Diksmuide (§ 4.3.2) 

Bouwsteen 3: Afvoercapaciteit Lokanaal vergroten	Bijkomende pompcapaciteit Veurnesluis (6 m³/s, § 4.4.1) 	Verhoging maximaal waterpeil Lokanaal (variant + 80 cm, § 4.4.2) 	Onderhoudsbaggerwerken Lokanaal (§ 4.4.3) 
Bouwsteen 4: Bijkomende afvoerweg Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Duinkerke-Veurne)	Bijkomende afvoer naar zee, pand Duinkerke- Veurne (§ 4.5.2.3) 	Bijkomende pompcapaciteit in Veurne (§ 4.5.3.2) 	



Overzichtstabel 2: Kernconclusies

Hieronder worden de kernconclusies nogmaals bij elkaar geplaatst in één overzichtstabel. Tevens is aangegeven of de maatregel te interpreteren is als noodmaatregel of eerder als onderdeel van het regulier waterbeheer; en of de maatregel ook een meerwaarde kan bieden in de strijd tegen droogte.

Maatregel	Bouw-steen	Kernconclusie	Regulier waterbeheer / noodmaatregel	Impact droogte?
Bijkomende pompcapaciteit aan de lepersluis (t.o.v. huidige toestand)	1	Meerwaarde lijkt beperkt te zijn	Inzet pompen enkel in noodsituaties	
Inzet van de stormvloedkering in Nieuwpoort	1	Inzet kering enkel nuttig als noodmaatregel bij extreme hoogwaterperiode	Noodmaatregel	
Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide (+ ca. 25 %, op volledige diepte)	2	Interessante maatregel, verder te onderzoeken	Regulier waterbeheer	☑
Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide (verbreding winterbed)	2	Impact te klein, niet verder onderzocht	Regulier waterbeheer	
Inrichting IJzer als perskanaal (afwaarts Diksmuide)	2	Technisch complexe maatregel. Niet verder in detail bestudeerd in dit onderzoek	Noodmaatregel	
Extra pompcapaciteit aan Veurnesluis in Nieuwpoort (t.o.v. huidige toestand)	3	Te bekijken in combinatie met andere maatregelen op Lokanaal. Op termijn vermoedelijk noodzakelijk.	Inzet pompen enkel in noodsituaties	
Verhoging maximaal peil Lokanaal (Fintele)	3	Interessante maatregel. Technische realiseerbaarheid verder te onderzoeken.	Noodmaatregel	☑
Kokers vanuit kanaal richting kust (nieuwe gravitaire afvoerweg naar zee)	4	Te overwegen in functie van lokale afvoer. Technisch en juridisch potentieel complex.	Regulier waterbeheer	
Kokers vanuit kanaal richting kust, inclusief pompstation	4	Te overwegen in functie van lokale afvoer. Technisch en juridisch potentieel complex.	Regulier waterbeheer	
Gecombineerde inzet Vannes de Furnes en bijkomende kokers	4	Technisch en juridisch potentieel complex. Meerwaarde op afvoer vanuit IJzer blijft beperkt.	Noodmaatregel	
Inzet van een piekbergingszone	5	Interessante maatregel, verder te onderzoeken	Noodmaatregel	
Kleinschalige bronmaatregelen	6	Voordelig voor opwaartse gebieden watersysteem Verdere uitrol in functie van Integrale Waterstrategie	Regulier waterbeheer	☑
Bijkomende buffering op Frans grondgebied	6	Vooraf relevant voor bovenloop IJzer. Ruimtelijke uitwerking niet verder onderzocht	Noodmaatregel	

1 Inleiding

1.1 Context

In het advies van de Taskforce Weerbare Westhoek aan de Vlaamse Regering, naar aanleiding van de wateroverlast in het IJzerbekken van november 2023, worden een 70-tal maatregelen voorgesteld om op korte termijn de waterveiligheid in de Westhoek te verbeteren. Een overzicht en beschrijving van deze maatregelen is terug te vinden in het advies zelf (Taskforce Weerbare Westhoek, 2023). Naar aanleiding van de lopende modelleringsopdracht binnen het Weerbaar WaterLandSchap traject, werden enkele bijkomende onderzoeksvragen gegund aan Sumaqua, de uitvoerder van de modelleringsopdracht. In deze uitbreiding van de opdracht werden enkele bijkomende onderzoeksvragen behandeld. Deze onderzoeksvragen zijn onderdeel van het advies van de Taskforce Weerbare Westhoek, waar ze onder de categorie 'onderzoek en monitoring' vallen. Na uitvoering van het meerwerk werd in een tweede fase nog een reeks onderzoeksvragen voorgelegd en gegund aan Sumaqua.

Dit document bundelt de rapportering van beide fasen van het meerwerk. Het is een samenvatting van de zaken die besproken werden tijdens de overlegmomenten met de stuurgroep van het meerwerk. Deze stuurgroep bestond uit vertegenwoordigers van het Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, het Bekkenbestuur IJzerbekken, De Vlaamse Waterweg, de Dienst Waterlopen van de Provincie West-Vlaanderen, het kabinet van de gouverneur van West-Vlaanderen, de Vlaamse Landmaatschappij, de Vlaamse Milieumaatschappij, het Waterbouwkundig Laboratorium, de Westkustpolder en de Zuidijzerpolder.

1.2 Onderzoeksvragen

De opdracht kan grosso modo opgesplitst worden in twee delen:

- 1) In het eerste deel van de opdracht werd een zogenaamde nacalculatie uitgevoerd van de hoogwaterperiode van november 2023 in het IJzerbekken. Dit houdt in dat de werkelijk opgetreden situatie zo goed mogelijk nagebootst wordt in het hydraulische model, door o.a. de juiste randvoorwaarden te koppelen aan het model en de in realiteit uitgevoerde maatregelen zo volledig mogelijk op te nemen in het model.
- 2) In het tweede gedeelte van de opdracht werden een aantal maatregelen, die het overstromingsrisico langs de IJzer moeten doen dalen, onderzocht. Hiertoe werden de maatregelen geïmplementeerd in het hydraulische model en werden simulaties uitgevoerd voor verschillende scenario's. Deze scenario's beperkten zich niet alleen tot de hoogwaterperiode van november 2023, maar ook andere periodes werden meegenomen. Tevens is de invloed van klimaatverandering meegenomen. De volgende topics kwamen aan bod in dit gedeelte van het onderzoek:
 - a. Onderzoek naar de mobiele pompcapaciteit aan de Ganzepoot. Het doel van dit onderzoek is een beter inzicht te krijgen in de effectiviteit van de pompen tijdens nov/2023 en ook in toekomstige situaties, met als finaal doel om de beschikbare capaciteit beter te kunnen inzetten.
 - b. Onderzoek naar bijkomende (permanente) pompcapaciteit aan de Ganzepoot.
 - c. Onderzoek naar de hydraulische meerwaarde van het inzetten van de in aanbouw zijnde stormvloedkering in Nieuwpoort. Deze kering biedt de mogelijkheid om in gesloten toestand een buffer te creëren tussen de Ganzepoot en de havenmond. Dit moet toelaten om langer gravitair water te lozen vanuit het binnenland.
 - d. De mogelijkheid om via de Kreek van Nieuwendamme en het Springsas bijkomende afvoercapaciteit vanuit de IJzer naar zee te realiseren.

- e. Een verbreding van de IJzer afwaarts van Diksmuide. Dit heeft als doel om de afvoercapaciteit vanuit het binnenland naar zee te vergroten. In het vlakke landschap van het IJzerbekken blijkt dit één van de belemmerende factoren te zijn.
- f. Inrichting van de IJzer als perskanaal, gelijkaardig aan het principe dat toegepast wordt aan het Veurne-Ambacht gemaal. Op die manier kan getracht worden ook tijdens hoogwater nog water te lozen vanuit de IJzer naar zee.
- g. Het vergroten van de afvoercapaciteit van het Lokanaal. Vanuit de bovenloop van de IJzer is dit in principe de snelste weg naar zee, dus hoe meer langs deze weg kan afgevoerd worden, hoe positiever voor de bovenloop. Verschillende opties werden hierrond bekeken, waaronder bijkomende pompcapaciteit in Nieuwpoort, een verhoging van het maximaal toelaatbare peil en de impact van baggerwerken uitgevoerd na nov/2023.
- h. Onderzoek naar een bijkomende afvoermogelijkheid voor het pand Duinkerke-Veurne van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. In november 2023 kon een groot deel van het water in dit pand afgevoerd worden via de nieuwe schuiven in Duinkerke. Dit gedeelte van het onderzoek bekijkt wat er gebeurd zou zijn als deze afvoermogelijkheid niet beschikbaar was en onderzoekt of bijkomende afvoer een alternatief kan bieden.
- i. Inrichten van een piekbergingszone op de linkeroever van de IJzer. Een dergelijke zone heeft als doel om net voor de piek een grote hoeveelheid water op een gecontroleerde manier te bergen en zo de piek af te toppen. De zone zou enkel in zeer uitzonderlijke omstandigheden ingezet worden, zodanig dat drastische wijzigingen in landgebruik vermeden kunnen worden.

De voorliggende onderzoeksvragen hebben voornamelijk als doel om de hydraulische meerwaarde van bepaalde maatregelen te verkennen en te evalueren. Andere aspecten (bv. operationeel, technisch, financieel, juridisch, ...) zijn niet meegenomen in de hier uitgevoerde analyses. Het wordt hier alvast benadrukt dat al deze aspecten ook moeten meegenomen worden in het beslissingsproces.

1.3 Leeswijzer

Het voorliggende rapport is als volgt opgebouwd:

- **Hoofdstuk 2** bespreekt de nacalculatie van de hoogwaterperiode november 2023. Hierbij komen de gevolgde methodiek, een bespreking van modelresultaten en een analyse van de impact van zeespiegelstijging aan bod.
- In **hoofdstuk 3** wordt beschreven hoe de andere historische gebeurtenissen, voor gebruik in de scenario analyse, geselecteerd werden. Tevens is een korte bespreking van de modelresultaten opgenomen. In dit hoofdstuk wordt ook beschreven hoe de impact van klimaatverandering meegenomen is in deze studie.
- De impacts van de onderzochte maatregelen worden besproken in **hoofdstuk 4**. De maatregelen zijn daarbij gegroepeerd als zogenaamde bouwstenen: maatregelen met een gelijkaardige locatie of doel en die meestal ook tot een gelijkaardige impact leiden. De bespreking van de impacts beperkt zich in dit hoofdstuk meestal tot een analyse van de maximale waterpeilen met en zonder toepassing van de maatregel.
- In **hoofdstuk 5** worden de simulatieresultaten omgezet naar overstromingskaarten. Hierbij werd onderzocht wat de impact van klimaatverandering op de getroffen oppervlakte is. Daarnaast werden ook datakruisingen met andere gegevens gemaakt, bijvoorbeeld om het aantal getroffen gebouwen te identificeren.
- Tot slot worden in **hoofdstuk 6** de belangrijkste conclusies en een aantal aanbevelingen voor toekomstig onderzoek en modellering samengevat.

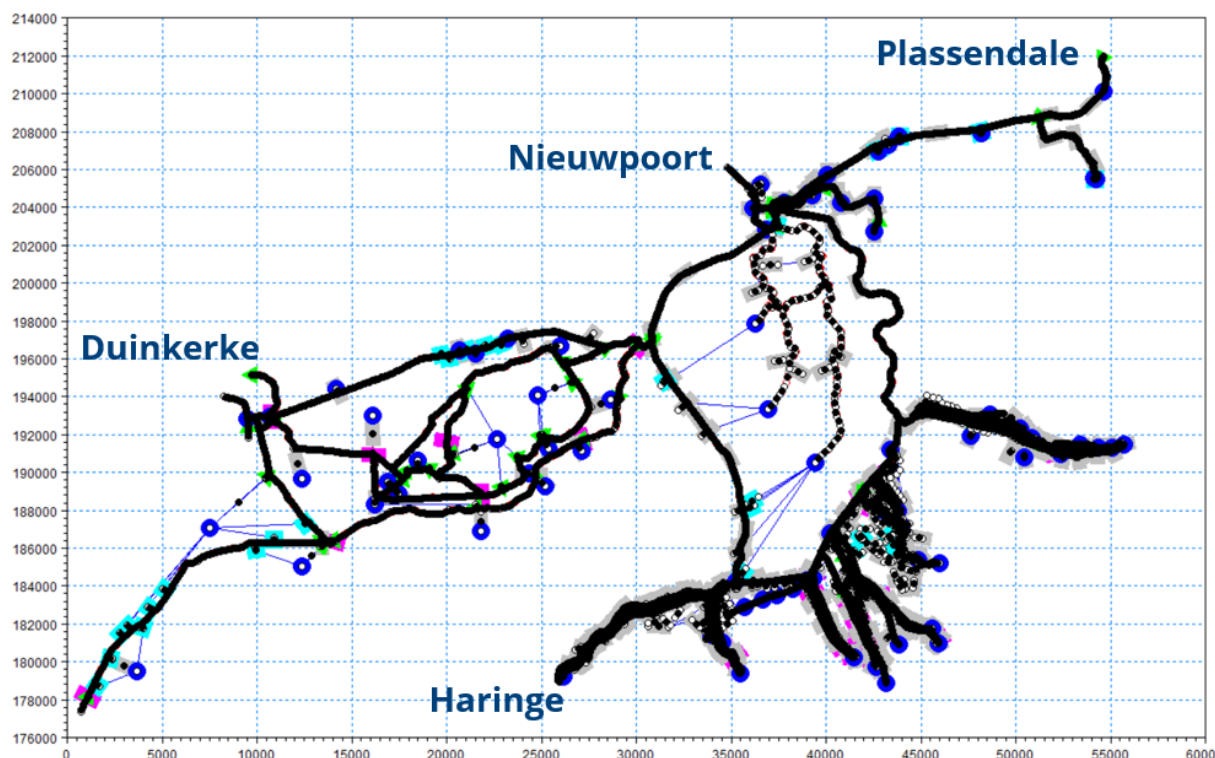
2 Simulatie hoogwaterperiode Nov/2023

2.1 Inleiding

De eerste stap in het onderzoek omvatte de modelmatige nacalculatie van de hoogwaterperiode van november 2023 in het IJzerbekken. In deze nacalculatie werd getracht om de werkelijk opgetreden toestand en de uitgevoerde maatregelen zo goed mogelijk te benaderen in het beschikbare hydraulische model. Deze nacalculatie dient dan als basis voor de vervolgstappen van deze studie. In dit hoofdstuk van het rapport wordt eerst beschreven welke modelleringstappen uitgevoerd werden om een zo goed mogelijke nacalculatie te bekomen (§ 2.2). Vervolgens worden de resultaten van het model vergeleken met de beschikbare metingen (§ 2.3), waarbij vooral gefocust wordt op de bevaarbare waterlopen in het gebied. Tot slot wordt ook nog gekeken naar de impact van negatievere afvoercondities op zee, m.n. zeespiegelstijging (§ 2.5) en doodtij (§ 2.6).

2.2 Opbouw model nacalculatie

De modelmatige nacalculatie werd uitgevoerd met het modelinstrumentarium dat beschikbaar is bij het Waterbouwkundig Laboratorium en het Hydrologisch Informatie Centrum. Hier werd geopteerd voor het zogenaamde A2-model dat opgemaakt werd in de studie *Numerieke modellering Waterbeheer – Hindcast IJzer 2021 en 2023* (Bogman, 2024). Figuur 1 toont de omvang van het A2-model. Dit model omvat zowel de bevaarbare waterlopen (IJzer, Lokanaal, Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort) als grote delen van de waterlopen van eerste categorie. Deze laatste zijn meestal opgenomen vanaf het punt waar een meetpunt met debietstijdreeksen beschikbaar is. Daarnaast bevat dit model nog uitbreidingen richting het oosten (Kanaal Plassendale-Nieuwpoort en Moerdijkvaart) en het westen (o.a. Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort, Bergenvaart, Canal Exutoire en Canal des Moères).



Figuur 1. Overzicht van het A2-model en de daarin opgenomen waterlopen.

Als eerste stap van de nacalculatie werden de meest geschikte randvoorwaarden aangelegd aan het model. Hierbij werd dezelfde methodiek toegepast als in het rapport van de nacalculatie van Nov/'21 en Jan/'23:

- Voor de bemeten waterlopen werd de beschikbare debietmeetreeks gedownload van Waterinfo.be. De locaties van deze meetpunten komen in het model meestal overeen met het meest opwaartse punt van de waterlopen, waardoor er geen extra bewerkingstap meer nodig was. In geval van korte perioden met ontbrekende waarden, werden deze opgevuld via lineaire interpolatie.
- Voor de afwaartse randvoorwaarden (waterpeilen in Plassendale, Nieuwpoort en Duinkerke) werd eveneens gebruik gemaakt van metingen. Deze zijn afkomstig van Waterinfo.be of van data.shom.fr (waterpeilen Duinkerke). Voor deze laatste werd rekening gehouden met het andere referentiepeil dat in Frankrijk wordt gebruikt.
- Voor zijdelingse instromen of waterlopen waarvoor geen debietsmetingen beschikbaar zijn, is eveneens gebruik gemaakt worden van de methodiek die toegepast werd in het eerder vernoemde rapport. Dit gebeurt door herschaling van het gemeten debiet via de bekkenoppervlakte-verhouding tussen bemeten en niet-bemeten bekkens. De exacte manier van koppelen is terug te vinden in tabel 5-1 van het eerder vernoemde rapport.
- De uitzondering op de hierboven gevolgde aanpak is het meetpunt op de Moerdijkvaart in Gistel. Deze debietmeetreeks bevatte te veel ontbrekende waarden, waardoor ze niet gebruikt kon worden in deze opdracht. Voor dit punt werd dan ook een herschaling van een nabijgelegen meetpunt op basis van bekkenoppervlakte toegepast.

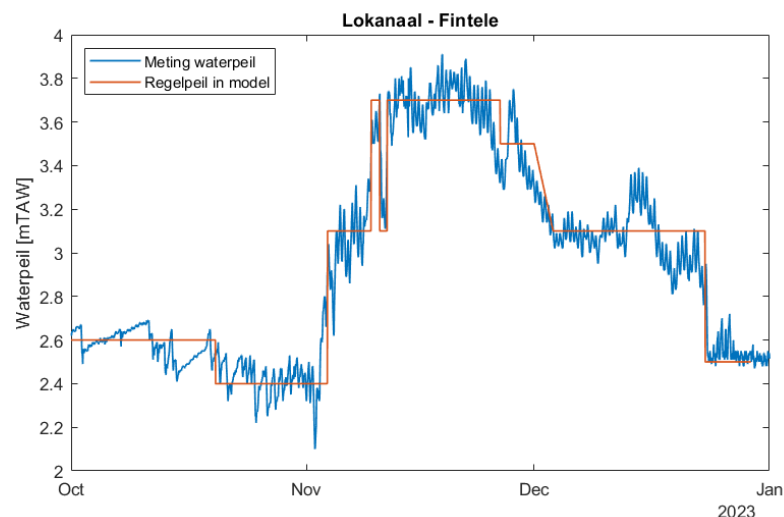
Vervolgens werd getracht om de maatregelen die tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 uitgevoerd werden op het terrein zoveel mogelijk op te nemen in het model. Hieronder volgt een lijst van de maatregelen die opgenomen werden in het model:

- Toevoeging van bijkomende mobiele pompen aan de Ganzepoot in Nieuwpoort. Vier sets pompen werden toegevoegd aan het model: een pomp van 1.6 à 2 m³/s aan de Iepersluis (IJzer naar zee), een pomp van 2 m³/s aan de Veurnesluis (Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort naar zee), een pompcapaciteit van 7.5 m³/s aan de Sint-Jorissluis (IJzer naar Kanaal Plassendale-Nieuwpoort) en een capaciteit van 10 m³/s aan de Gravensluis (Kanaal Plassendale-Nieuwpoort naar zee). Bij het toevoegen van de mobiele pompen aan het model werd zoveel mogelijk rekening gehouden met het tijdstip waarop deze capaciteit beschikbaar kwam. Tevens is verondersteld dat de pompen niet werkten wanneer op dezelfde locatie gravitaire afvoer mogelijk was. De pomp op de Oude Veurnaart (meest westelijke pomp in Figuur 2) werd niet toegevoegd aan het model, aangezien de Oude Veurnaart in het model niet verbonden is met de andere waterlopen.



Figuur 2. Overzicht pompcapaciteit aan de Ganzepoot in Nieuwpoort tijdens hoogwaterperiode nov/2023 (bron: De Vlaamse Waterweg)

- Toevoeging van bijkomende pompcapaciteit op andere locaties in het onderzochte gebied. Hieronder vallen: noodpomp Machuitbeek, noodpomp Sloggat, bijkomende pomp aan Nieuwpoortsluis in Veurne. Voor zover mogelijk werd voor de vaste en mobiele pompstations ook rekening gehouden met de periode waarin ze actief waren. Van sommige pompen werd bv. gevraagd om ze tijdelijk uit te schakelen om zo de hoofdassen van het systeem minder te belasten. Voor de pompen in de Westkustpolder werd hiermee rekening gehouden. Uit analyses bleek dat deze maatregel nauwelijks impact had op de waterpeilen in IJzer en Lokanaal.
- Activering van bijkomende gravitaire afvoermogelijkheden. Via deze bijkomende afvoerwegen kon water van de ene naar de andere waterloop verschoven worden. Denk hierbij aan de buis aan de Ganzepoot, de Sint-Jorissluis en de Dierendoncksluis. Opnieuw werd zoveel mogelijk rekening gehouden met de periode waarin deze gravitaire afvoeren ingezet werden.
- Inzet van het Lokanaal om water af te voeren van de IJzer. De in het model aanwezig regeling van de schuiven in Fintele stemt niet overeen met de werkelijke sturing tijdens de hoogwaterperiode. In realiteit werd meer water afgevoerd dan in de originele inschatting van het model. Om de afvoer via het Lokanaal te vergroten werd de aansturing van de schuiven aangepast. Na aanpassing worden de schuiven geregeld in functie van het regelpeil aan afwaartse zijde, dit is dus het waterpeil in het Lokanaal. Het regelpeil waarop gestuurd werd, is afgeleid op basis van de metingen tijdens nov/2023 (zie Figuur 3). Op die manier kan een zo goed mogelijke overeenkomst bekomen worden en wordt tegelijk rekening gehouden met de beslissingen die genomen werden tijdens de hoogwaterperiode.



Figuur 3. Benadering van het gemeten peil afwaarts van de schuiven in Fintele (blauw), als regelpeil voor de aansturing van de schuiven in het model (rood).

- Nazicht regeling andere belangrijke gravitaire afvoeren. Op basis van de logging van de waterbeheerders van De Vlaamse Waterweg kan vastgesteld worden wanneer bepaalde gravitaire afvoerwegen (bv. openen van de Iepersluis aan de Ganzepoot) ingezet werden om water te lozen. Waar nodig werd de bestaande regeling in het MIKE11-model aangepast om deze inzet in het model beter te laten overeenkomen met de werkelijkheid.
- Inzet van de Vannes de Furnes in Duinkerke om water af te voeren van het pand Duinkerke-Veurne van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Van beide schuiven zijn meetreeksen van de procentuele opening beschikbaar. Deze werden omgezet naar absolute openingen en volledig overgenomen in de simulaties. Na toevoeging van deze openingen aan het model bleek dat de uitwateringsconstructie van het Canal Exutoire in Duinkerke (Ouvrage Tixier) niet correct opgenomen was in het model. De schuiven openden nl. niet wanneer gravitaire afvoer mogelijk was. Dit werd ook nog aangepast.

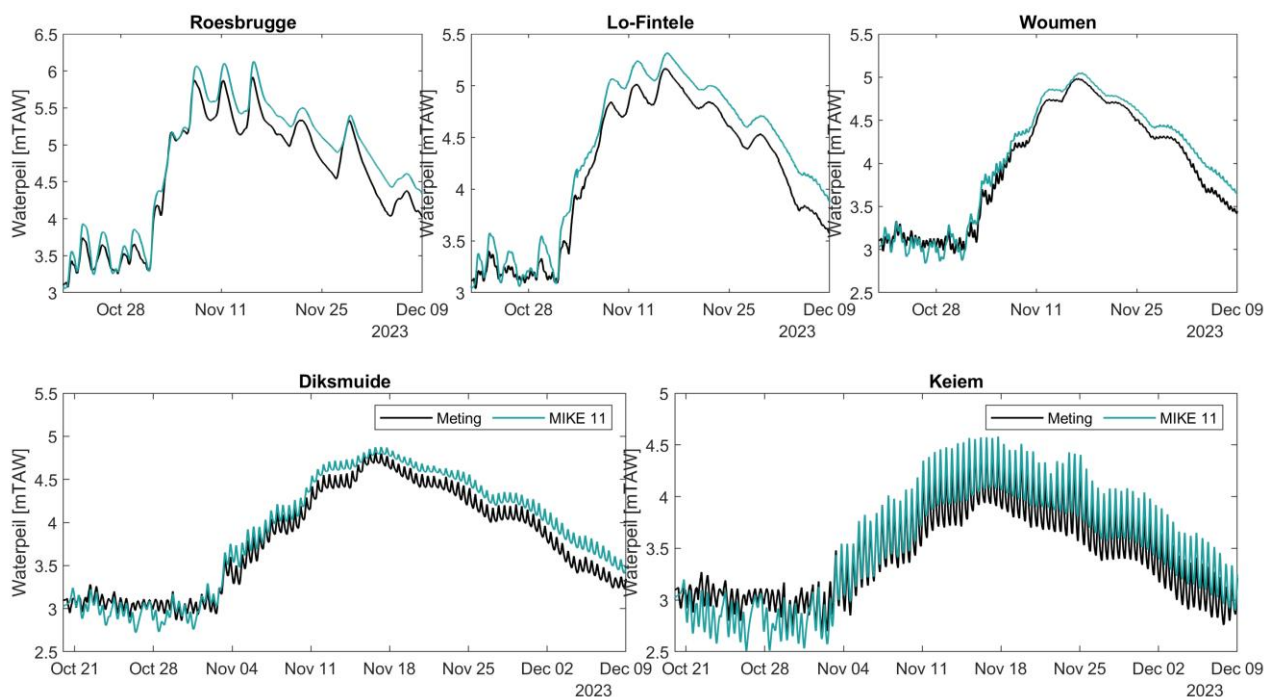
2.3 Resultaten nacalculatie nov/2023

De evaluatie van de nacalculatie gebeurt door het vergelijken van metingen en modelresultaten, m.n. de tijdreeksen van waterpeilen binnen het modelgebied. Hierbij wordt vooral gekeken naar meetpunten op de bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. De resultaten van het model op Frans grondgebied worden iets minder belangrijk geacht omwille van de beperktere informatie. Daarnaast zullen de te onderzoeken maatregelen en impacts zich vooral op Vlaams grondgebied bevinden. Het is m.a.w. van belang om in dat gedeelte van het model betrouwbare resultaten te bekomen.

In Figuur 4 wordt een vergelijking gemaakt van gemeten en gesimuleerde waterpeilen op vijf locaties langs de IJzer. Deze zijn gerangschikt van opwaarts naar afwaarts. De meetreeksen zijn afkomstig van de Waterinfo.be website. De grafieken geven aan dat er in het model sprake is van een systematische overschatting van het waterpeil op de IJzer. Deze overschatting is het grootst in Roesbrugge en neemt af naarmate men verder naar afwaarts kijkt. In Roesbrugge loopt het verschil tussen het maximaal gesimuleerde en maximaal gemeten waterpeil op tot 20 cm. In Keiem bedraagt het verschil tussen beide maxima ca. 7 cm. Belangrijk om op te merken is **dat het model, ondanks de overschattingen, wel duidelijk in staat is om het gedrag van het systeem te benaderen**. Op alle getoonde locaties ligt het verloop van het gesimuleerde waterpeil in lijn met het gemeten waterpeil. Verderop in deze sectie wordt een vergelijking gemaakt van geobserveerde en berekende overstromingscontouren. Ondanks de overschattingen van het waterpeil in het model leidt dit niet tot een grote toename van de getroffen oppervlakte. De overschattingen in het model lijken dus aanvaardbaar te zijn.

De systematische overschattingen van het waterpeil kunnen verschillende oorzaken hebben. Enkele daarvan worden hieronder kort aangehaald:

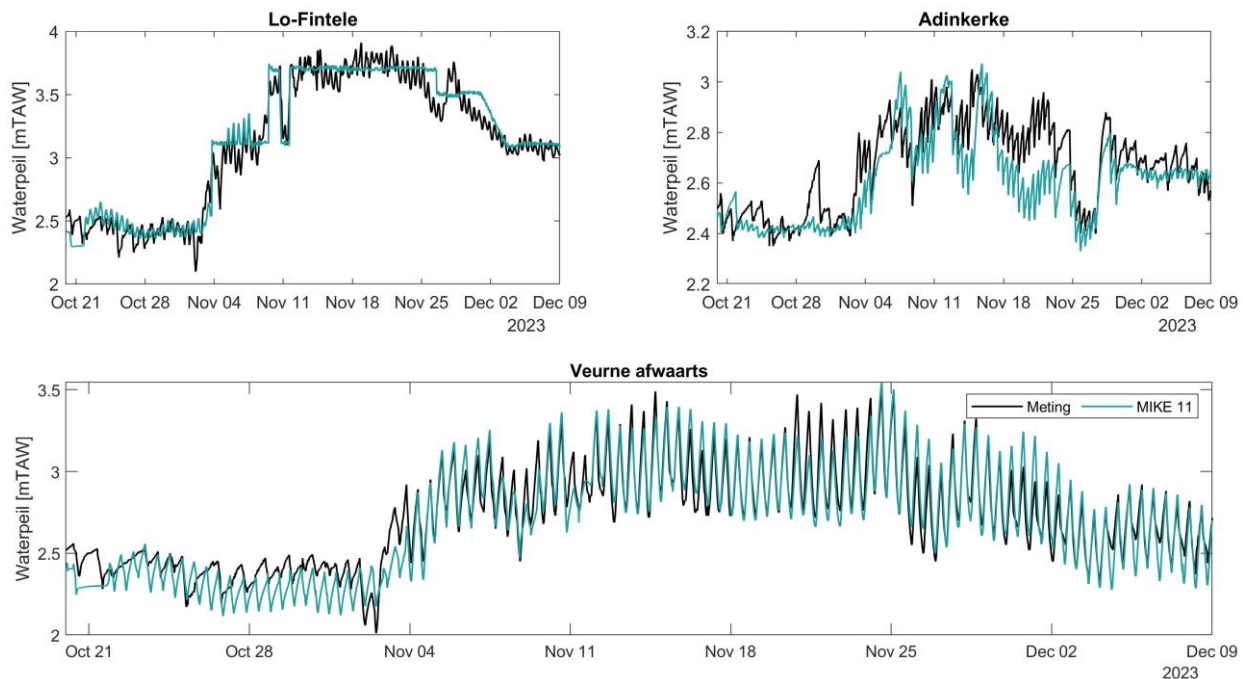
- De overschattingen zijn het gevolg van een teveel aan water in het model, in vergelijking met de werkelijkheid. Dit is mogelijk aangezien slechts 37% van de totale instroom bemeten is. Voor de niet-bemeten gebieden worden herschalingen op basis van bekkenoppervlakte toegepast. Dit zou tot een overschatting van het totale volume kunnen leiden. Dit wordt ook bevestigd wanneer het cumulatieve debiet in Keiem (op de IJzer) wordt geanalyseerd. In het model ligt het cumulatieve debiet op deze locatie ca. 10% hoger dan in de metingen.
- Het model werd gekalibreerd in een eerdere studie. Daarbij werd aan de opwaartse rand van de IJzer het gemeten debiet in Haringe aangelegd als randvoorwaarde. Deze meetreeks is intussen niet meer actief en werd vervangen door het gemeten debiet in Roesbrugge, dat echter op een andere manier wordt gemeten. Mogelijks bestaat er een discrepantie tussen de meetreeksen van beide locaties.
- De ruwheden in het model stemmen niet overeen met de ruwheden ten tijde van november 2023.
- De overstromingsgebieden zijn onvoldoende opgenomen in het model. Dit zou betekenen dat het model minder uitgestrekte overstromingen simuleert dan in werkelijkheid. Hiertoe werd een analyse van de dwarssecties uitgevoerd, waaruit bleek dat de overstromingsgebieden toch voldoende breed opgenomen zijn in het model.



Figuur 4. Vergelijkingen gemeten waterpeilen (zwart) en resultaten nacalculatie (groen) voor vijf locaties langs de IJzer.

Figuur 5 toont een vergelijking van gesimuleerde en gemeten waterpeilen op drie locaties langs het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort. Op deze locaties is geen sprake van een systematische overschatting van de gemeten waterpeilen. Volgende zaken kunnen nog vastgesteld worden in de grafieken:

- Het gesimuleerde waterpeil in Lo-Fintele vertoont minder variatie dan het gemeten waterpeil. Dit is gevolg van de regeling van de schuiven in Fintele. In het model is deze veel fijner dan in werkelijkheid. Het algemene gedrag van beide waterpeilen komt echter wel overeen.
- Het waterpeil in Adinkerke (Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort) is sterk afhankelijk van de uitstroom via de Vannes de Furnes in Duinkerke. Dit komt ook duidelijk terug in de modelresultaten: aangezien gebruik is gemaakt van de gemeten openingen zien we gelijktijdig sterke dalingen van gemeten en gesimuleerd waterpeil. De dalingen in het model zijn echter iets sterker dan in de metingen. Dit doet vermoeden dat de afvoer via de Vannes de Furnes overschat wordt of dat de aanvoer naar het kanaal onderschat wordt.
- De locatie 'Veurne Afwaarts' bevindt zich afwaarts van de Nieuwpoortsluis in Veurne. Het gesimuleerde waterpeil volgt hier vrij goed het verloop van het gemeten peil, met ongeveer een gelijk aantal overschattingen als onderschattingen.



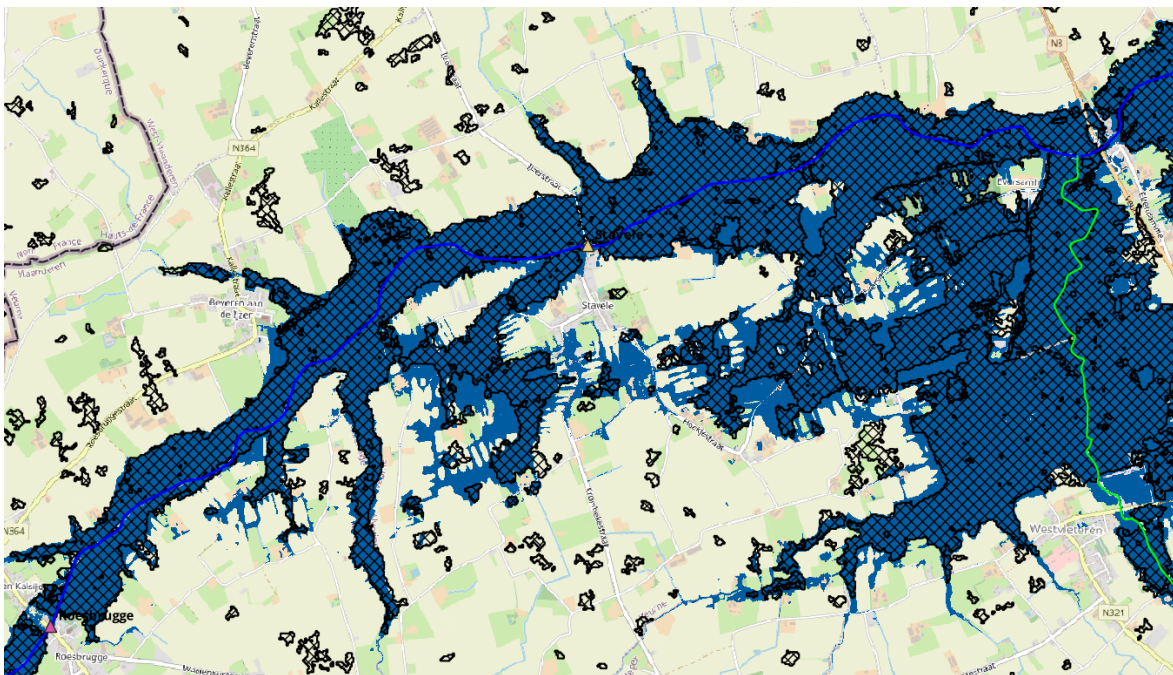
Figuur 5. Vergelijkingen gemeten waterpeilen (zwart) en resultaten nacalculatie (groen) voor drie locaties langs Lokanaal en Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort.

In Tabel 1 wordt nogmaals een vergelijking gemaakt van de gemeten en gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van de meetpunten op de IJzer, Lokanaal en Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. De tabel geeft voor elk meetpunt het maximaal gemeten en maximaal gesimuleerde waterpeil, het verschil tussen beide maxima en de Root Mean Square Error (RMSE) van de volledige tijdreeks. De RMSE is een maat voor de gemiddelde afwijking tussen modelresultaten en metingen. Uit de tabel kan nogmaals afgeleid worden dat het model leidt tot een overschatting van de waterpeilen op de IJzer en dat deze afwijkingen groter zijn naarmate het meetpunt meer opwaarts gelegen is. Op de kanalen zijn de verschillen tussen de maximale waterpeilen kleiner, maar kunnen toch nog relatief hoge RMSE-waarden vastgesteld worden. Dit laatste heeft vermoedelijk te maken met het feit dat het om een sterk gereguleerd systeem gaat en de invloed van het afwaartse getij.

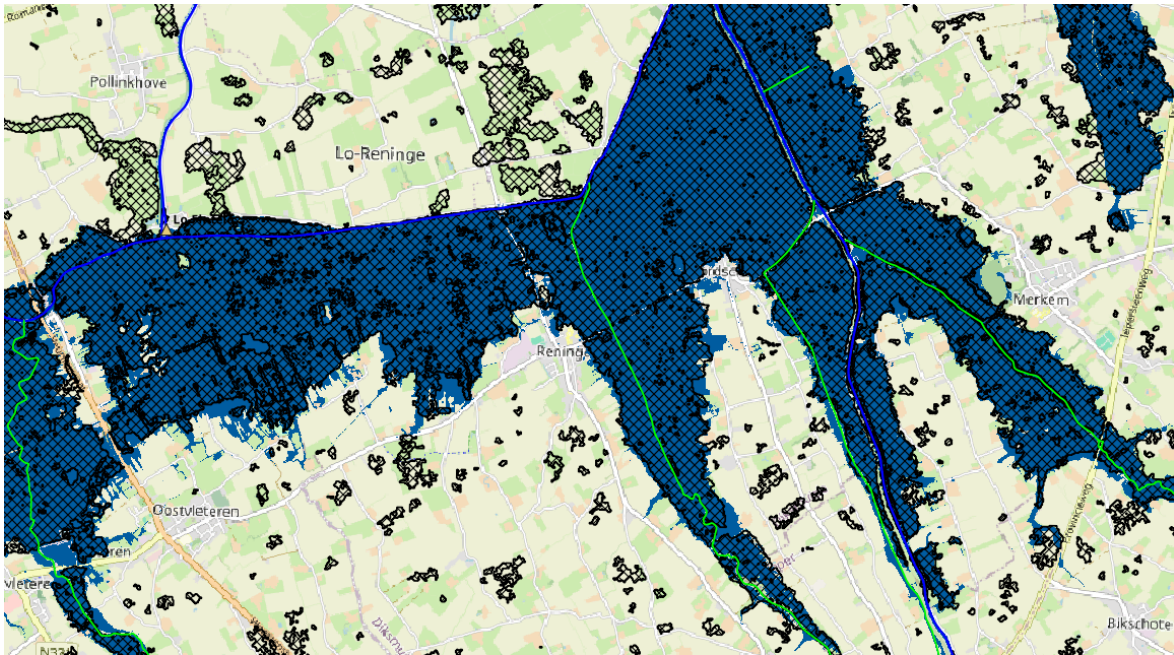
Tabel 1. Vergelijking gemeten en gesimuleerde waterpeilen op bevaarbare waterlopen in IJzerbekken, ten tijde van hoogwaterperiode nov/23.

Locatie	Maximaal peil meting [mTAW]	Maximaal peil nacalculatie [mTAW]	Vershil maximaal peil [cm]	RMSE [cm]
Roesbrugge	5.92	6.13	21	23.1
Stavele	5.44	5.59	15	23.8
Fintele (IJzer)	5.17	5.31	14	21.0
Woumen	4.98	4.99	1	13.5
Diksmuide	4.82	4.88	6	16.2
Keiem	4.51	4.59	7	17.2
Nieuwpoort (IJzer)	4.29	4.35	6	26.8
Fintele (Lokanaal)	3.91	3.74	-17	11.8
Veurne	3.51	3.55	4	10.9
Nieuwpoort (KDN)	3.44	3.44	0	21.4
Adinkerke	3.05	3.07	2	11.5

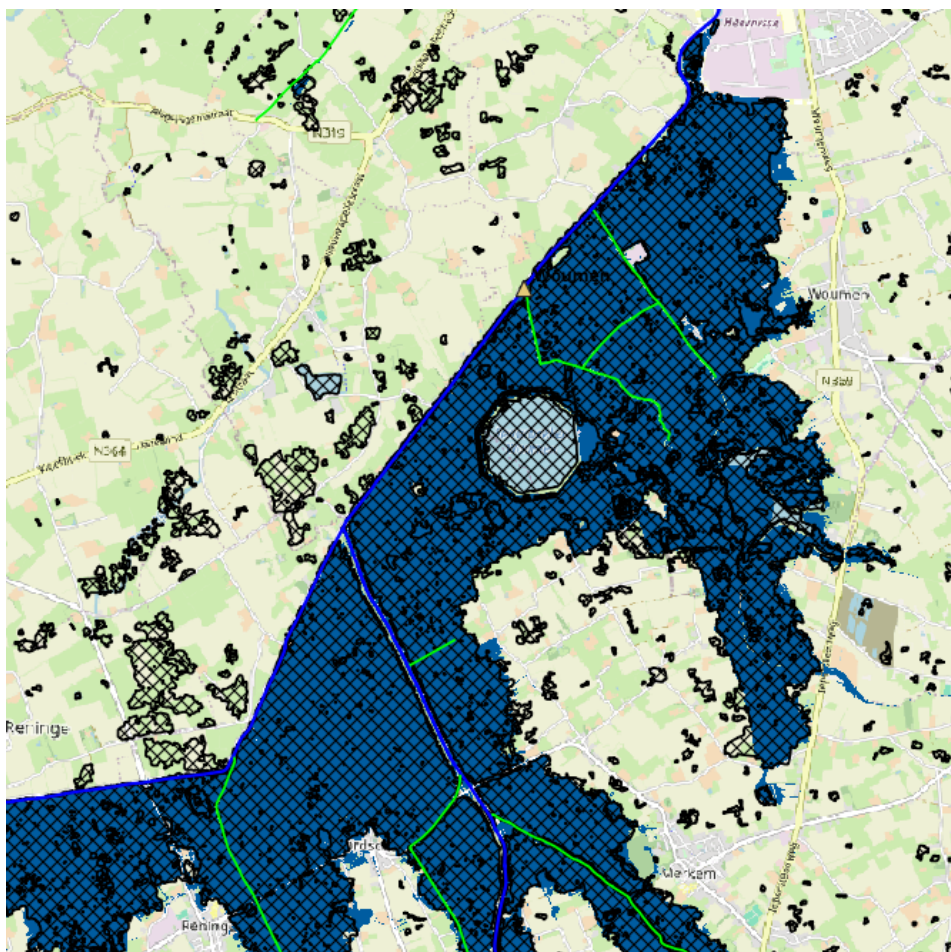
Tot slot werden op basis van de nacalculatie ook nog overstromingskaarten opgemaakt en vergeleken met satellietbeelden voor dezelfde periode. De overstromingskaarten horende bij de nacalculatie werden opgemaakt op basis van de maximale waterpeilen in de simulatie. Voor elke locatie werd het maximum gebruikt, wat betekent dat de kaart een samenvatting van meerdere tijdstappen is. De gekarteerde toestand zal in werkelijkheid niet voorgevallen zijn op hetzelfde tijdstip. Voor het karteren van de werkelijk opgetreden overstromingen werd gebruik gemaakt van de TerraFlood kaarten, die verkregen werden via VMM. Deze kaarten werden aangemaakt op basis van satellietbeelden tijdens hoogwaterperiodes en enkele verwerkingsstappen (Landuyt et al., 2021). De satellietbeelden werden gemaakt door de Sentinel-1 satellieten van het Copernicusprogramma van de Europese Unie. Elke 2 à 4 dagen werden nieuwe satellietbeelden gemaakt. Deze werden vervolgens gecombineerd om een beeld te krijgen van de maximale overstromende oppervlakte. Deze kaarten met contouren van de maximale overstromingen kunnen vergeleken worden met de kaarten opgemaakt op basis van de simulaties. Dit is getoond in Figuur 6 tot en met Figuur 8.



Figuur 6. Vergelijking van berekende overstromingskaarten (in blauw) en maximale contour geobserveerde overstromingen (zwart gearceerd) tussen Roesbrugge en Elzendamme, voor de hoogwaterperiode november 2023.



Figuur 7. Vergelijking van berekende overstromingskaarten (in blauw) en maximale contour geobserveerde overstromingen (zwart gearceerd) tussen Elzendamme en Merkem, voor de hoogwaterperiode november 2023.



Figuur 8. Vergelijking van berekende overstromingskaarten (in blauw) en maximale contour geobserveerde overstromingen (zwart gearceerd) tussen Reninge en Diksmuide, voor de hoogwaterperiode november 2023.

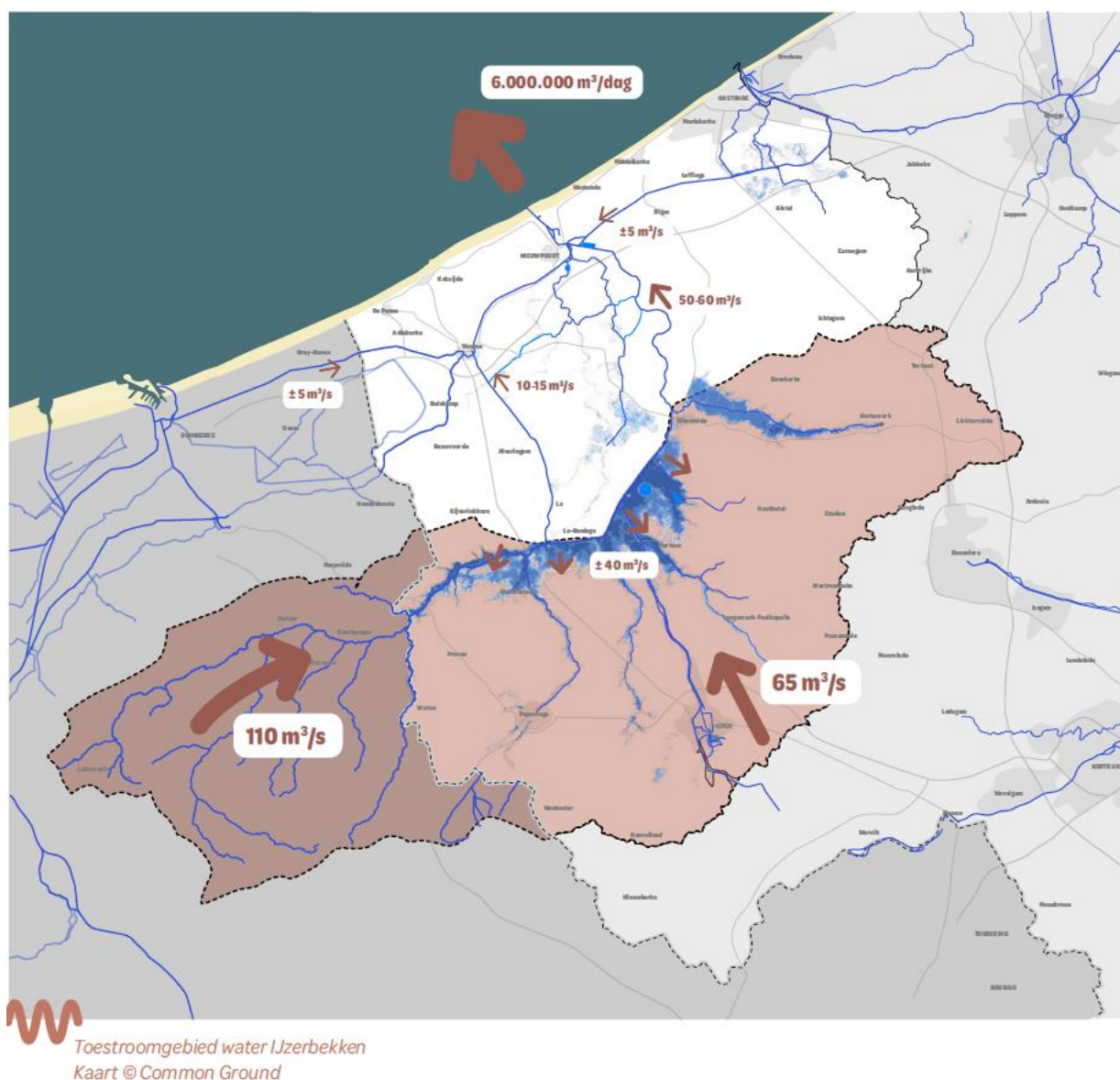
De uitgestrektheid van de berekende overstromingen blijkt vrij tot zeer goed overeen te komen met de kaarten op basis van satellietbeelden. Zeker in het gedeelte tussen Noordschote en Diksmuide is dit het geval. De grenzen van beide overstromingskaarten vallen daar nagenoeg samen. Verder opwaarts, bijvoorbeeld in de omgeving van Stavele, zetten de berekende overstromingskaarten een groter gebied onder water dan wat de satellietbeelden aangeven. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat het model de gemeten waterpeilen overschat in de opwaartse gebieden. Mogelijks speelt ook het tijdstip van de satellietbeelden hierin een rol. Ondanks dat het model de gemeten waterpeilen overschat, vertaalt zich dit niet in aanzienlijk grotere oppervlaktes die onder water komen te staan in de gesimuleerde overstromingskaarten. De overschattingen lijken dus aanvaardbaar.

In de kaarten op basis van satellietbeelden worden op verschillende locaties geïsoleerde zones met wateroverlast aangeduid, welke niet voorkomen in de berekende kaarten. Dit is bijvoorbeeld het geval op de linkeroever van de IJzer ter hoogte van de Blankaart. Dit heeft te maken met het feit dat de overstromingskaarten op basis van de simulaties niet het gehele gebied omvatten. Tegelijk kan het ook gaan om zones met pluviale wateroverlast die tijdelijk onder water staan omwille van de grote neerslaghoeveelheden.

Er werden geen verdere wijzigingen aangebracht aan het model en/of de randvoorwaarden om te proberen de systematische overschatting weg te werken. Een herkalibratie van het model was niet voorzien in deze opdracht. Er werd dus verder gewerkt met dit model en er werd verondersteld dat de overschattingen geen impact zullen hebben op de conclusies van het onderzoek.

2.4 Analyse volumeverdeling

In het rapport van de Taskforce Weerbare Westhoek (2023) is onderstaande kaart (zie Figuur 9) terug te vinden. Hierin wordt een overzicht gemaakt van de bij benadering maximale debieten in het IJzerbekken tijdens hoogwaterperiodes. De cijfers in deze kaart kunnen een beeld schetsen over de afkomst van het water in het IJzerbekken en de verdeling ervan over de verschillende afvoerwegen. Het gebruik van maximale debieten heeft echter als nadeel dat het slechts een momentopname is en geen idee kan geven over de verhouding over langere periodes. De temporele variabiliteit van de afvoer gaat namelijk verloren wanneer enkel naar de maxima gekeken wordt. Dankzij de nacalculatie in het hydraulische model is er echter bijkomende informatie beschikbaar om dit verder in detail te bekijken. In deze sectie van het rapport zal daarom de volumebalans van het systeem nog wat verder geanalyseerd worden.



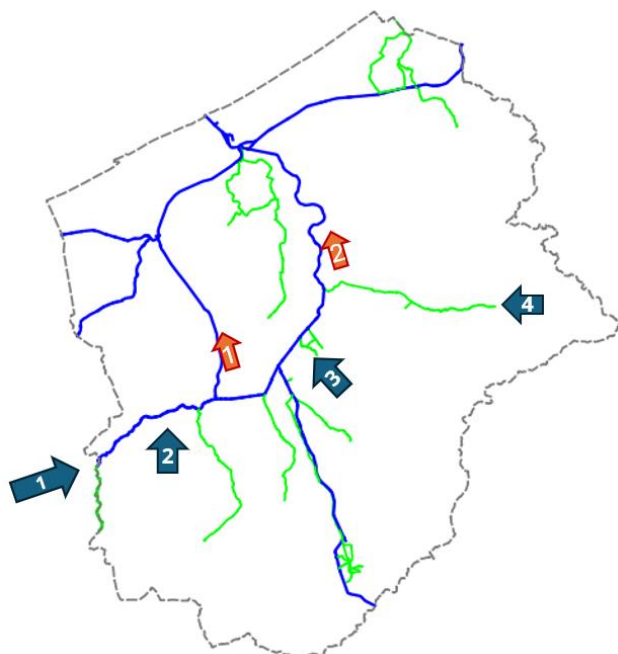
Figuur 9. Overzicht van potentieel maximale debieten in het IJzerbekken tijdens hoogwaterperiodes (bron: rapport Taskforce Weerbare Westhoek).

De analyse van de volumebalans gebeurt op basis van het cumulatieve debiet (of volume) op een aantal locaties. Dit is dus het totale volume dat op een bepaalde locatie passeert, gedurende een bepaalde periode. Hier werd gekozen voor de periode tussen 21 oktober en 4 december 2023, wat bij benadering overeenkomt met de periode die getoond is in de grafieken van bijvoorbeeld Figuur 4.

Een eerste analyse bekijkt de volumebalans van de IJzer. Hierbij werd het instromende volume opgedeeld in vier zones (zie Figuur 10), met name: 1) het opwaartse deel van het IJzerbekken in Frankrijk; 2) de zijlopen tussen de Franse grens en het Lokanaal (bv. Poperingevaart); 3) de zijlopen afwaarts van het Lokanaal en opwaarts van Diksmuide; en 4) de Handzamevaart. Aan uitgaande zijde werden twee afvoeren beschouwd: 1) het volume dat afgevoerd wordt via het Lokanaal en 2) het volume dat via de IJzer afgevoerd wordt. Voor deze laatste component werd gekeken naar het debiet in de IJzer net afwaarts van de samenvloeiing van IJzer en Handzamevaart. De cumulatieve volumes voor de verschillende componenten zijn eveneens terug te vinden in Figuur 10. Uit deze cijfers kunnen een aantal zaken afgeleid worden:

- De instroom vanuit Frankrijk bedraagt ca. 40 % van de totale instroom van het IJzerbekken.
- Iets meer dan 55 % van de totale aanvoer stroomt opwaarts van het Lokanaal in de IJzer en iets minder dan 45 % stroomt afwaarts ervan in de IJzer.

- In de zone tussen het Lokanaal en Diksmuide stroomt ook nog een aanzienlijk volume het systeem in.
- Het overgrote deel (90 %) van het aangevoerde water wordt afgevoerd via de IJzer.
- De afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal bedraagt iets minder dan 10 % van de totale afvoer.
- Indien enkel de aanvoer opwaarts van het Lokanaal beschouwd wordt, dan wordt ca. 18 % hiervan afgevoerd via het Lokanaal.



Instromen

Zone	Volume [M m³]	Aandeel [%]
1	97.7	39
2	43.3	17
3	72.0	29
4	35.4	14
Totaal	248.4	100

Uitstromen

Zone	Volume [M m³]	Aandeel [%]
1	25.5	10
2	219.4	90
Totaal	244.9	100

Figuur 10. Analyse volumebalans IJzer tijdens hoogwaterperiode november 2023

Een gelijkaardige analyse van de volumebalans werd ook opgemaakt voor het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort). Hierbij werden de instromen verdeeld in drie groepen: 1) de instroom vanuit de IJzer; 2) de aanvoer vanuit zijlopen en pompstations; en 3) de aanvoer vanuit het pand Duinkerke – Nieuwpoort (via pomp en sluis in Veurne). De uitstroom werd opgesplitst in twee componenten: 1) Het water dat richting de Ganzepoot gestuurd werd via Veurnesluis, Veurnestuw en de bijkomende pompen; en 2) het water dat via de Dierendoncksluis afgeleid werd naar het Veurne-Ambachtgemaal. De cumulatieve volumes en hun onderlinge verhouding zijn terug te vinden in Figuur 11. Hieruit kunnen de volgende zaken vastgesteld worden:

- De aanvoer naar het Lokanaal is voor ca. twee derde afkomstig van de IJzer. De aanvoer vanuit de pompstations is ca. één kwart van de totale afvoer.
- Vanuit het pand Duinkerke-Veurne bedraagt de afvoer ca. 10 %. Dit is vermoedelijk minder dan in vergelijking met andere hoogwaterperiodes, aangezien een redelijk grote hoeveelheid water afgevoerd werd via Frankrijk.
- Via de Dierendoncksluis werd ongeveer 10 % van het totale volume afgevoerd. Al het andere water werd afgevoerd richting de Ganzepoot.



Instromen

Zone	Volume [M m³]	Aandeel [%]
1	25.5	64
2	9.9	25
3	4.3	11
Totaal	39.7	100

Uitstromen

Zone	Volume [M m³]	Aandeel [%]
1	35.2	89
2	4.3	11
Totaal	39.5	100

Figuur 11. Analyse volumebalans Lokanaal tijdens hoogwaterperiode november 2023.

Merk op dat bovenstaande cijfers gebaseerd zijn op de resultaten van de modelmatige nacalculatie en dus kunnen verschillen van de realiteit. Het wordt echter verwacht dat deze verschillen beperkt zullen blijven. Daarnaast is het ook relevant om op te merken dat de onderlinge verhoudingen berekend zijn op basis van de cumulatieve afvoer over de volledige nacalculatie. De cijfers geven dus een beeld over de volledige periode. De ogenblikkelijke verhoudingen, op een bepaald tijdstip in de simulatie, kunnen uiteraard verschillend zijn.

2.5 Impact zeespiegelstijging

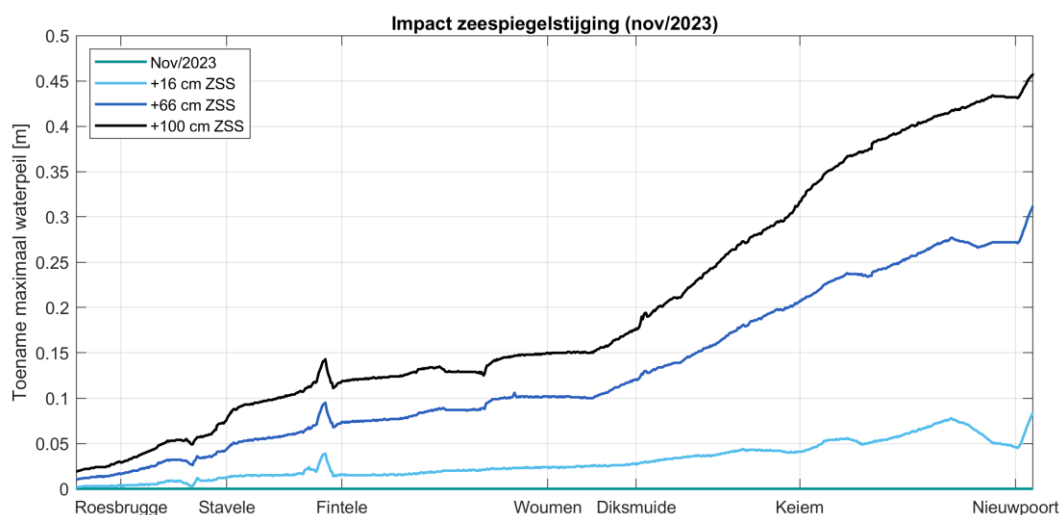
In deze sectie van het rapport zal nagegaan worden wat de impact van zeespiegelstijging op de hoogwaterperiode van november 2023 is. Door de stijging van het waterpeil in de havengeul in Nieuwpoort zullen de gravitaire afvoermogelijkheden dalen, waardoor het water minder snel naar zee kan stromen en waardoor dus een toename van de peilen in het binnenland verwacht kan worden. Er wordt in deze sectie enkel gekeken naar een zeespiegelstijging en niet naar een toename van de neerslagafstromingsdebieten op de bovenlopen, wat eveneens een impact van klimaatverandering is. Er wordt dus vertrokken van dezelfde instromende debieten als in de nacalculatie, waaraan een toename van het afwaarts waterpeil wordt gekoppeld.

Er werd in dit onderzoek gewerkt met drie verschillende prognoses voor zeespiegelstijging, nl. +16 cm, +66 cm en +100 cm, telkens ten opzichte van de historische tijdreeksen uit 2023. Deze zeespiegelstijgingen kunnen beschouwd worden als voorspellingen voor de eerder korte termijn, de middellange termijn en de lange termijn. Er werd gekozen om voorlopig geen concrete jaartallen te plakken op de gebruikte zeespiegelstijgingen.

Het A2 model heeft drie afwaartse randvoorwaarden waar een tijdreeks van waterpeilen aangeleverd moet worden: in Duinkerke, in Nieuwpoort en in Plassendale, ter hoogte van de verbinding met het Kanaal Gent-Oostende. In Duinkerke en Nieuwpoort kan de zeespiegelstijging eenvoudig toegepast worden op de historische tijdreeksen. Hierbij werd verondersteld dat de zeespiegelstijging zich op een constante manier doorzet. Dat wil zeggen dat de veronderstelde stijging als constante opgeteld werd bij de historische gemeten getijden tijdens november 2023 en dat er dus geen onderscheid gemaakt werd tussen hoogtij en

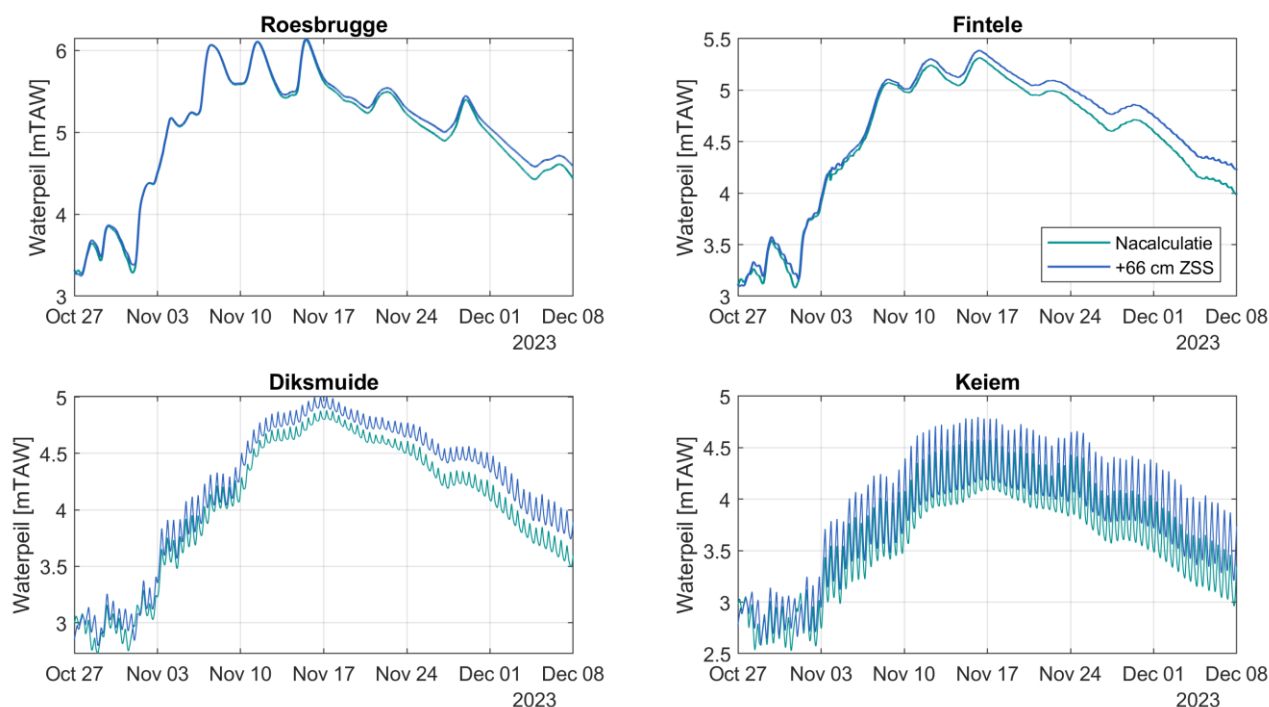
laagtij. Het waterpeil in Plassendale wordt beïnvloed door het getij op zee, maar niet rechtstreeks. Het is dus niet toegestaan om de zeespiegelstijging als een constante op te tellen bij het gemeten debiet. Uit een eenvoudig vergelijkend onderzoek blijkt echter dat de impact van het waterpeil in Plassendale op de afvoer van de IJzer zeer klein is. Er werd daarom gekozen om hier te blijven rekenen met de gemeten waterpeilen, ook voor de simulaties waarin zeespiegelstijging wordt toegepast.

Figuur 12 toont een lengteprofiel met de toename van de maximale waterpeilen op de IJzer ten gevolge van een zeespiegelstijging van 16, 66 en 100 cm. De drie grafieken kennen een gelijkaardig verloop: **de toename is het grootst in Nieuwpoort ter hoogte van de uitwateringsconstructies. Vervolgens daalt de impact relatief snel totdat een knikpunt bereikt wordt net opwaarts van Diksmuide. Verder opwaarts daalt de impact van zeespiegelstijging nog verder, maar aan een trager tempo. In de Bovenloop van de IJzer en tegen de grens met Frankrijk is de impact het kleinst.** Het knikpunt ter hoogte van Diksmuide is vermoedelijk te wijten aan de indijking van de IJzer afwaarts van Diksmuide. Een even grote verandering van het volume zal hier tot een grotere verandering van het waterpeil leiden, dan in zones waar de IJzer kan overstromen. Zoals verwacht kon worden leidt een sterkere zeespiegelstijging tot een grotere toename van de maximale waterpeilen. Verdere analyse toont aan dat de toename zelfs lineair evenredig is met de omvang van zeespiegelstijging.



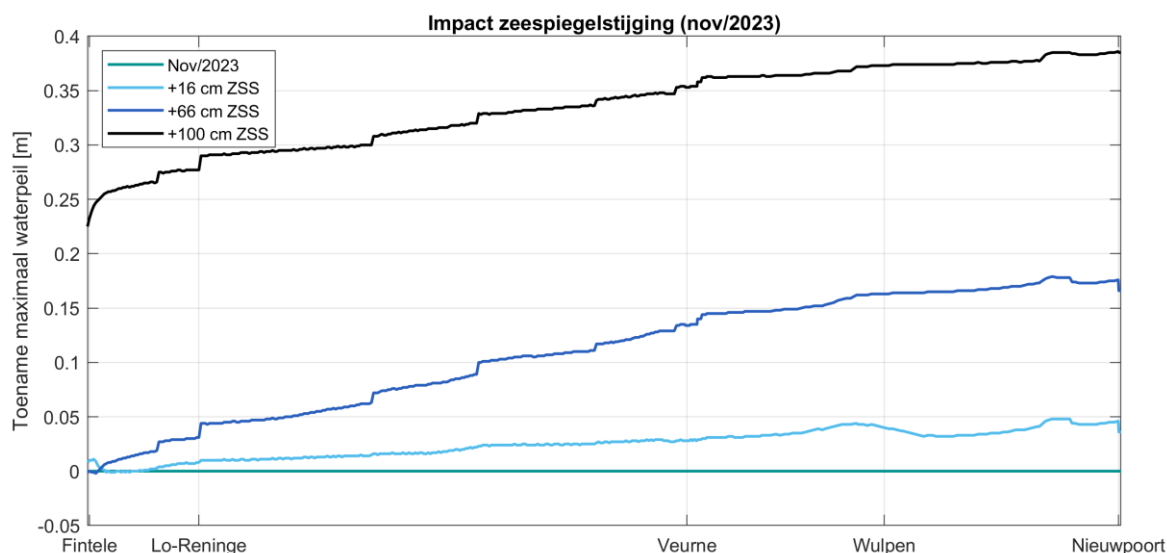
Figuur 12. Toename maximale waterpeilen op de IJzer tijdens hoogwaterperiode nov/23, ten gevolge van zeespiegelstijging.

In Figuur 13 zijn voor een aantal locaties de gesimuleerde waterpeilen getoond voor de nacalculatie van nov/23 en de simulatie met 66 cm zeespiegelstijging. Deze grafieken tonen opnieuw aan dat de impact van zeespiegelstijging kleiner is voor de meer opwaarts gelegen gebieden. Daarnaast is ook te zien dat de zeespiegelstijging niet enkel leidt tot een toename van de maximale waterpeilen, maar ook tot een verlenging van de hoogwaterperiode. De tijdspanne waarin bepaalde drempels overschreden worden zal toenemen als gevolg van de verminderde afvoercondities.

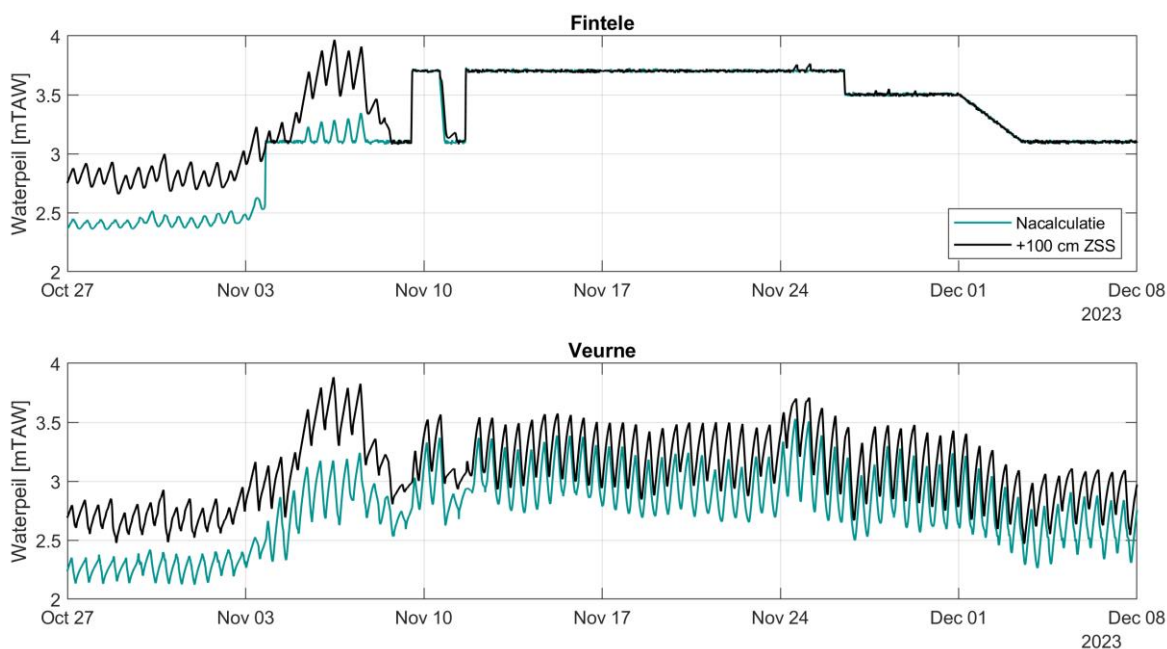


Figuur 13. Gesimuleerde waterpeilen op enkele locaties langs de IJzer: resultaten nacalculatie nov/'23 (groen) en resultaten nov/23 met 66 cm zeespiegelstijging (blauw).

Figuur 14 toont een lengteprofiel met de toename van de maximale waterpeilen op het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort (pand Veurne – Nieuwpoort) ten gevolge van de beschouwde zeespiegelstijgingen. Ook hier geldt dat de impact van zeespiegelstijging het grootst is voor de meest afwaarts gedeelten van het kanaal en dat de impact toeneemt naarmate de zeespiegelstijging groter is. Ter hoogte van Fintele is er bij zeespiegelstijgingen tot minstens 66 cm geen toename van het maximale waterpeil te zien. Dit is het gevolg van de regeling van de schuiven in Fintele: die zijn nl. ingesteld op een maximaal toelaatbaar peil net afwaarts van de schuiven. De zeespiegelstijging verandert hier niets aan. Bij een zeespiegelstijging van 100 cm wordt in het opwaarts gedeelte van het Lokanaal wel een stijging van de maximale waterpeilen voorspeld. Dit is het gevolg van de combinatie van zeespiegelstijging en het doottij omstreeks 7 november 2023 (zie Figuur 15), waardoor er vanuit het kanaal Duinkerke – Nieuwpoort nauwelijks water kan afgevoerd worden naar zee. Tegelijkertijd blijven de pompstations wel water naar het Lokanaal verpompen vanuit de polder en zijn er nog geen pompen actief aan de Ganzepoot. De combinatie van die factoren maakt dat het waterpeil op het Lokanaal tijdens doottij hoger stijgt dan het maximaal toelaatbare peil (3.7 mTAW) dat ingesteld werd tijdens de hoogwaterperiode van november 2023. **Het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort zijn kwetsbaarder voor deze combinatie omdat het normaalpeil lager ligt dan bijvoorbeeld op de IJzer of het Kanaal Plassendale – Nieuwpoort. Door dit lagere normaalpeil zal de periode waarin gravitaire afvoer mogelijk is sneller inkrimpen als gevolg van de zeespiegelstijging.**



Figuur 14. Toename maximale waterpeilen op Lokanaal en Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort tijdens hoogwaterperiode nov/23, ten gevolge van zeespiegelstijging.

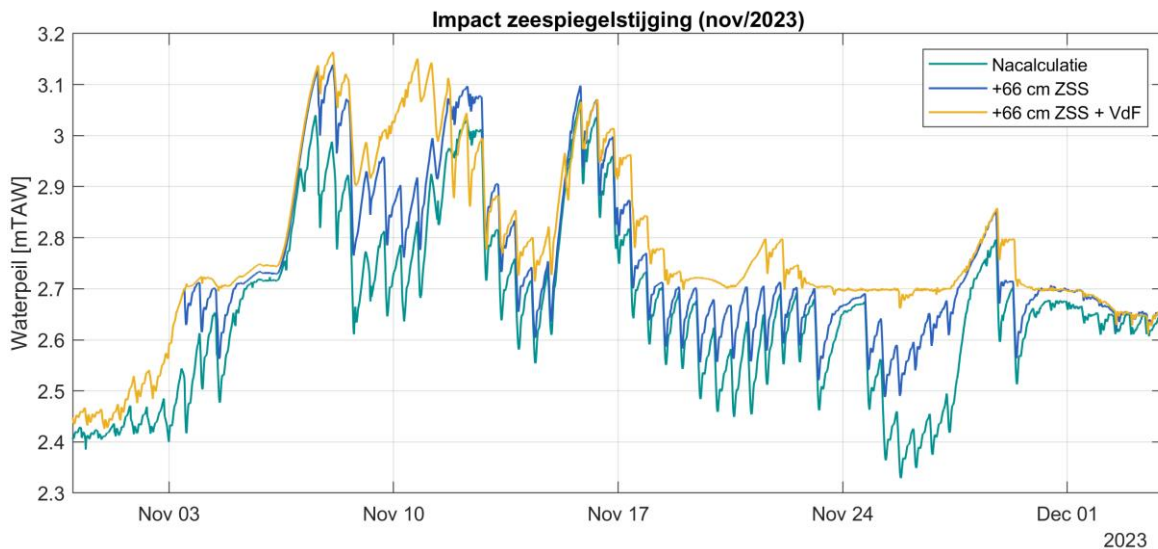


Figuur 15. Gesimuleerde waterpeilen op twee locaties langs het Lokanaal: resultaten nacalculatie nov/'23 (groen) en resultaten nov/23 met 100 cm zeespiegelstijging (zwart).

Bij het bestuderen van de impact van zeespiegelstijging op het pand Duinkerke – Veurne is het belangrijk om te weten dat de inzet van de Vannes de Furnes in Duinkerke een belangrijke invloed had op de waterpeilen. Daarom werden telkens twee simulaties uitgevoerd: één met de historische openingen van de Vannes de Furnes en een tweede waarin gerekend werd met een veralgemeende regeling van deze structuren. In deze veralgemeende regeling werden de schuiven pas geopend indien het waterpeil op het kanaal voldoende hoog was en het waterpeil in de haven van Duinkerke voldoende laag. De drempelwaarden hiervoor werden afgeleid op basis van de historische simulaties.

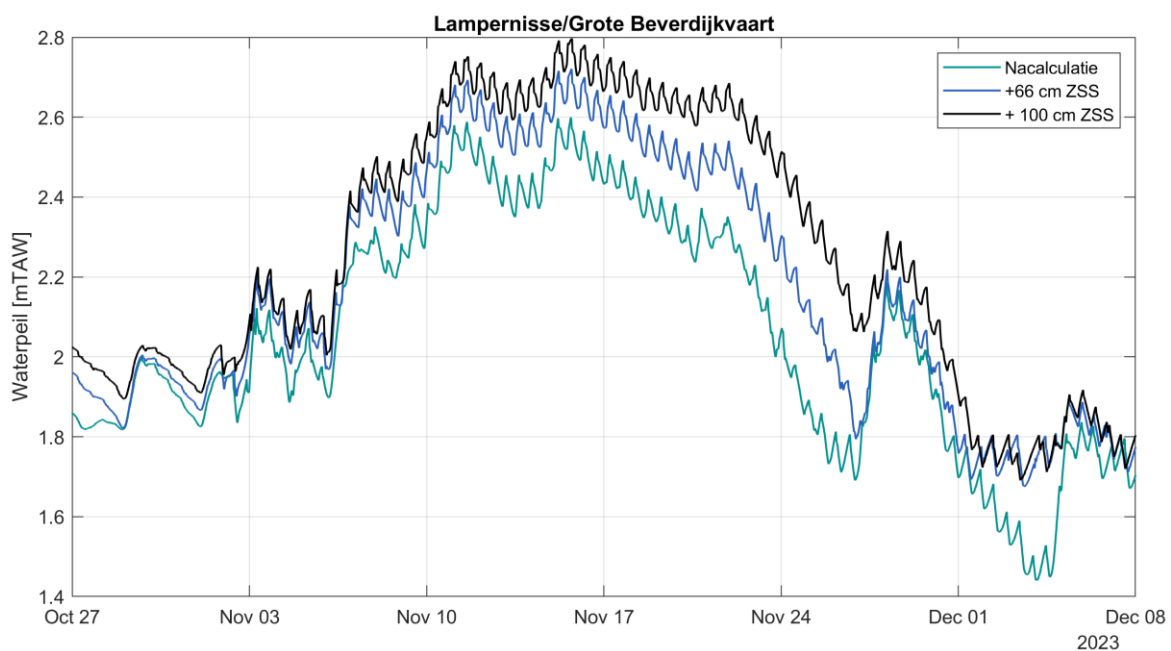
De resultaten van deze simulaties zijn getoond in Figuur 16 waarbij een zeespiegelstijging van 66 cm werd toegepast. De figuur toont zowel de resultaten met de historische regeling als met de veralgemeende regeling. Beide regelingen kunnen tot aanzienlijk verschillende waterpeilen leiden: zo is de tweede piek omstreeks 11 november aanzienlijk hoger in geval van de veralgemeende regeling dan in geval van de historische regeling. Het is echter opvallend dat de maximale waterpeilen niet veel verschillen. Deze treden

namelijk op in de periode net na het doortij (7 november): beide regelingen laten hier geen opening van de Vannes de Furnes toe en leiden dus min of meer tot dezelfde peilstijgingen. Dit benadrukt nogmaals het belang van de afvoerconstructie in Duinkerke.



Figuur 16. Gesimuleerde waterpeilen in Adinkerke (kanaal Duinkerke – Nieuwpoort: resultaten nacalculatie nov/23 (groen), resultaten nov/23 met 66 cm zeespiegelstijging (blauw) en resultaten met 66 cm zeespiegelstijging en veralgemeende regeling (geel).

Tot slot wordt in Figuur 17 nog een vergelijking gemaakt van de gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van het meetpunt in Lampernisse op de Grote Beverdijkvaart. Als gevolg van de zeespiegelstijging zal er ter hoogte van het Veurne Ambacht gemaal ook minder water afgevoerd kunnen worden, met verhoogde waterpeilen in de Westkustpolder tot gevolg. De toename van het maximale waterpeil is ca. 12 cm bij een zeespiegelstijging van 66 cm en ongeveer 20 cm bij een zeespiegelstijging van 100 cm. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de Grote Beverdijkvaart en andere waterlopen in de Westkustpolder minder nauwkeurig gemodelleerd zijn dan bv. de IJzer.



Figuur 17. Gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van meetpunt Lampernisse/Grote Beverdijkvaart (KL01_350B): resultaten nacalculatie nov/23 (groen) en resultaten nov/23 met 66 cm (blauw) en 100 cm zeespiegelstijging (zwart).

In Tabel 2 wordt nogmaals een overzicht gegeven van de gesimuleerde maximale waterpeilen ter hoogte van de meetpunten op de IJzer, het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort. Voor een aantal potentieel kritieke locaties worden de cijfers hieronder nog wat verder geanalyseerd:

- Voor de valleidorpen Roesbrugge en Stavele worden momenteel beschermingsniveaus van respectievelijk 6.5 mTAW en 6.2 mTAW beoogd met lokale beschermingsmaatregelen (dijken en keermuren). **Op basis van de uitgevoerde simulaties blijkt dat de vooropgestelde dijkhoogtes voldoende zijn om bescherming te bieden tegen een evenement zoals november 2023, inclusief zeespiegelstijging.**
- In de nacalculatie werd ter hoogte van de winterdijk aan de Blankaart een waterpeil van 5 mTAW gesimuleerd, wat nagenoeg overeenkomt met de bovenkant van de dijk. Ook op het terrein bleek het overstromen van de winterdijk een kwestie van centimeters te zijn. **Als gevolg van de zeespiegelstijging worden aan de winterdijk hogere waterpeilen voorspeld. In elk beschouwd scenario leidt dit tot een overstroming van de winterdijk.**

Tabel 2. Vergelijking gemeten en gesimuleerde waterpeilen op bevaarbare waterlopen in IJzerbekken, ten tijde van hoogwaterperiode nov/23.

Locatie	Nacalculatie	+16 cm ZSS	+66 cm ZSS	+ 100 cm ZSS
Roesbrugge	6.13	6.13	6.14	6.16
Stavele	5.59	5.60	5.63	5.66
Fintele (IJzer)	5.31	5.33	5.39	5.43
Blankaart (winterdijk)	5.00	5.03	5.11	5.16
Woumen	4.99	5.02	5.09	5.14
Diksmuide	4.90	4.93	5.02	5.08
Keiem	4.59	4.63	4.80	4.91
Nieuwpoort (IJzer)	4.35	4.39	4.62	4.78
Fintele (Lokanaal)	3.73	3.74	3.73	3.97
Veurne	3.53	3.56	3.66	3.88
Nieuwpoort (KDN)	3.44	3.49	3.62	3.83
Adinkerke	3.07	3.08	3.14	3.16

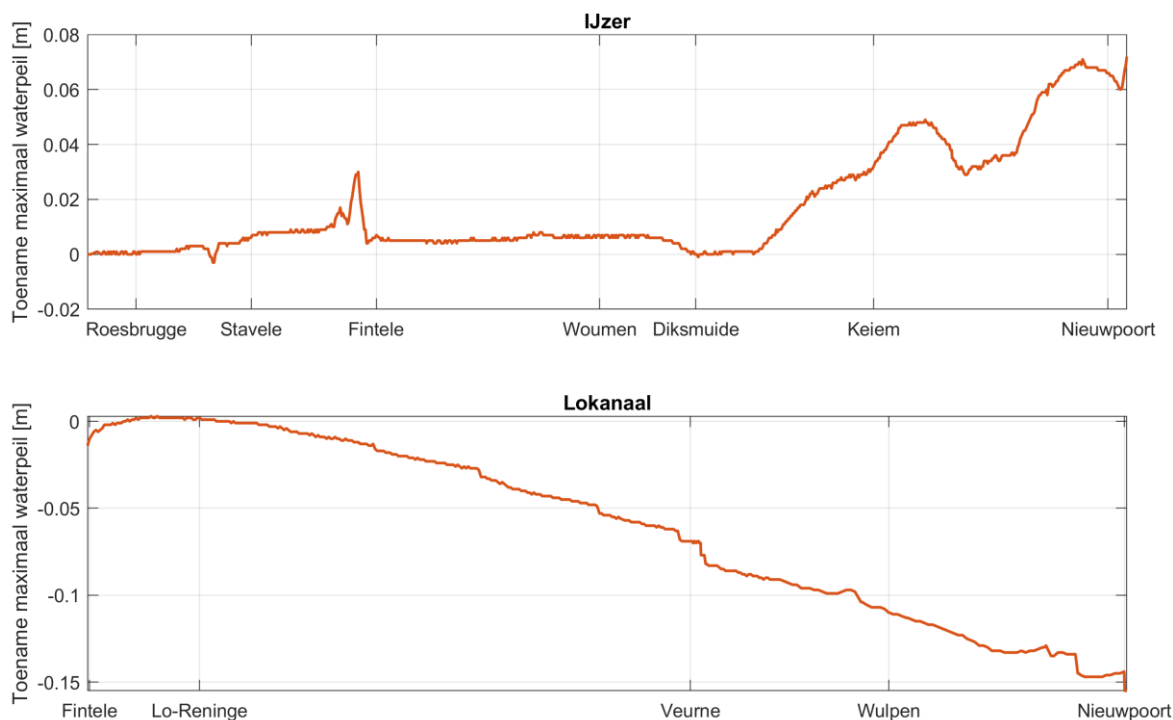
Bij alle hierboven gepresenteerde resultaten wordt best opgemerkt dat ze enkel van toepassing zijn op de hoogwaterperiode van november 2023. Indien andere gebeurtenissen doorgerekend worden, kan dit mogelijks tot licht verschillende resultaten leiden. Al wordt wel verwacht dat de grootteordes van veranderingen dezelfde blijven.

2.6 Impact doodtij

Net als zeespiegelstijging kan doodtij tot een daling van de afvoercapaciteiten aan de Ganzepoot leiden, waardoor de afvoer van het binnenland naar de zee beperkt wordt. Bij doodtij is het verschil tussen hoog- en laagwater nl. minimaal, wat leidt tot een lager hoogwater en een hoger laagwater. In deze sectie wordt besproken of het tijdstip van doodtij een belangrijke impact had op de hoogwaterperiode van november 2023. Om dit te onderzoeken werden de historische metingen van waterpeilen op zee, zoals gebruikt tijdens de nacalculatie, verschoven in de tijd. De verschuiving werd zodanig gekozen dat het doodtij zoveel mogelijk samenvalt met de maximale waterpeilen in het binnenland. Dit kan bij benadering beschouwd worden als de meest nadelige combinatie: op dat moment is de nood voor afvoer naar zee het hoogst en zijn de mogelijkheden vermoedelijk het kleinst omwille van het doodtij.

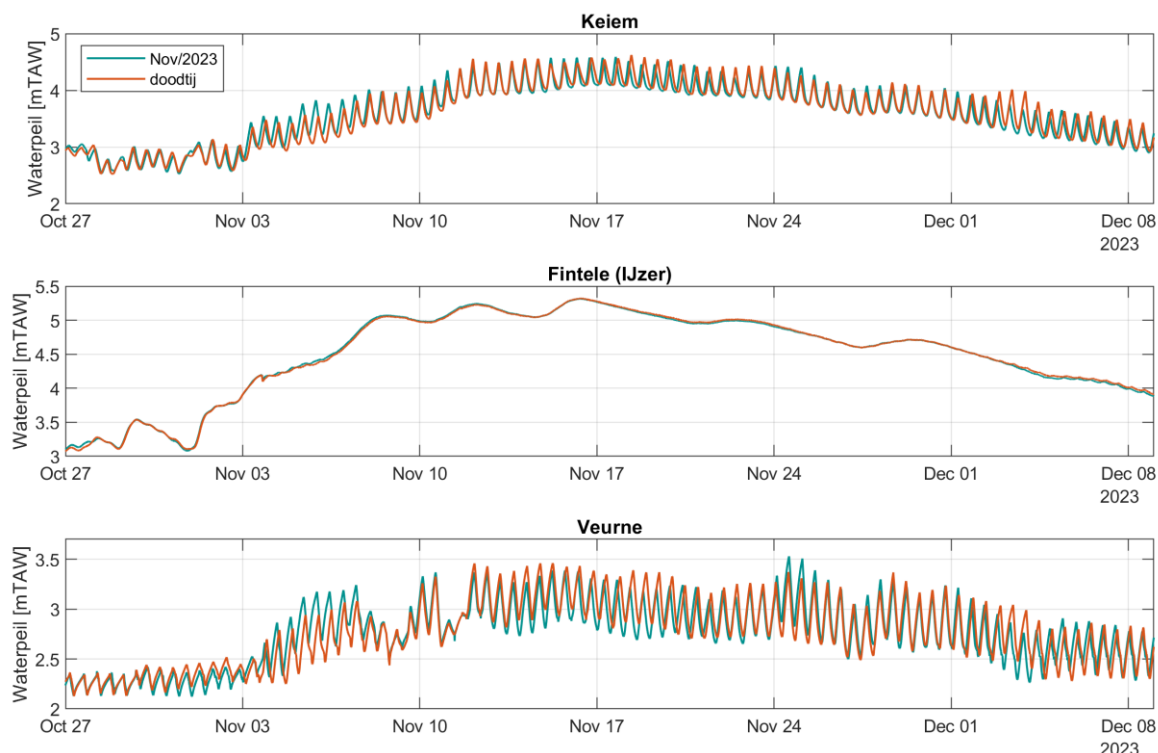
Figuur 19 toont een lengteprofiel met de toename van de maximale waterpeilen op de IJzer en het Lokanaal als gevolg van het verschuiven in de tijd van de afwaartse randvoorwaarde. Op de IJzer leidt dit tot een toename van de maximale waterpeilen en dan voornamelijk in het afwaartse gedeelte. Dit gedeelte van de IJzer is ingedijkt, waardoor geen grote toename van de schade verwacht wordt. Opwaarts van Diksmuide

heeft het doodtij nauwelijks impact op de maximale waterpeilen: de verschillen blijven beperkt tot ca. 1 cm. Op het Lokanaal is het omgekeerde effect zichtbaar: daar leidt het verschuiven van het doodtij tot een daling van de maximale waterpeilen. Deze daling is het grootst in Nieuwpoort en neemt af in functie van de afstand.



Figuur 18. Toename maximale waterpeilen op IJzer, Lokanaal en Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort) tijdens hoogwaterperiode nov/23, ten gevolge van verschuiven doodtij.

Figuur 19 geeft een iets gedetailleerder beeld van wat er gebeurt indien het doodtij later zou optreden. Voor drie locaties langs de IJzer en het Lokanaal zijn de tijdreeksen van gesimuleerde waterpeilen getoond. In de grafieken voor Keiem en Veurne is het verschil duidelijk zichtbaar. Door het verschuiven van het doodtij verschuiven ook de geïnduceerde getijden op IJzer en Lokanaal. Binnen elke getijcyclus verschuiven de oscillaties naar voor of naar achter in de tijd en dalen of stijgen de maxima. Het stijgen of dalen wordt namelijk bepaald door de combinatie van afwaartse afvoermogelijkheid en opwaartse debieten. Het zijn deze verschuivingen die maken dat het maximale waterpeil kan veranderen als gevolg van het doodtij. Voor het Lokanaal betekent dit bijvoorbeeld dat het maximale peil niet meer op hetzelfde moment zal optreden. In de nacalculatie was dit rond 24 november, terwijl het maximale peil in de nieuwe simulatie eerder rond 14 à 15 november optreedt. Dit verklaart ook de opvallende vaststelling uit Figuur 18, waarin een daling van de maximale peilen voorspeld werd voor het Lokanaal. In de meer opwaarts gelegen delen van het IJzerbekken (bv. op de IJzer in Fintele) is er nauwelijks een impact te zien. Het waterpeil wordt hier amper beïnvloed door het getij op zee.



Figuur 19. Gesimuleerde waterpeilen op IJzer en Lokanaal: resultaten nacalculatie nov/'23 (groen) en resultaten nov/23 met verschuiving doodtij (rood).

Vergemeend kan gesteld worden dat het tijdstip van doodtij wel degelijk een negatieve invloed heeft op de afvoer naar zee. Het overstromingsrisico lijkt echter niet significant toe te nemen, aangezien de grootste impact optreedt in zones die ingedijkt zijn. De lengte van de hoogwaterperiode zal hier vermoedelijk ook een rol in spelen. De hoogwaterperiode van november 2023 duurde bijna één maand, waardoor er altijd minstens één keer sprake zal zijn van doodtij.

2.7 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschreef de modelmatige nacalculatie van de hoogwaterperiode van november 2023 in het IJzerbekken. Hierbij werd vertrokken van het zogenaamde A2-model van de voornaamste waterlopen het IJzerbekken, dat beschikbaar gesteld werd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Aan dit bestaande hydraulische model werden de randvoorwaarden van de historische hoogwaterperiode van november 2023 gekoppeld. Tevens werd getracht om de uitgevoerde beheersmaatregelen zoveel mogelijk op te nemen in de simulaties.

Op basis van de resultaten van de nacalculatie volgen hieronder nog een aantal conclusies en mogelijke aanbevelingen.

- Het hydraulische model is duidelijk in staat om het gedrag van de voornaamste waterlopen in het IJzerbekken te simuleren. De gesimuleerde waterpeilen liggen echter systematisch hoger dan de gemeten waterpeilen op dezelfde locaties. De grootte van de overschatting neemt toe voor de meer opwaarts gelegen gebieden langs de IJzer. Hoger in dit hoofdstuk werden verschillende mogelijke oorzaken voor deze overschattingen benoemd.
- Een verdere kalibratie van het model om nauwkeurigere resultaten te bekomen, was geen onderdeel van deze opdracht, en werd bijgevolg niet uitgevoerd. Mogelijks is een verfijning van het model in de toekomst wel aangewezen. Het model werd nl. gekalibreerd aan de hand van eerdere hoogwaterperiodes die kleiner van omvang waren en vooral de bovenloop troffen. De uitgevoerde simulaties voor de hoogwaterperiode november 2023 bevinden zich dus buiten die kalibratierange.

Het meenemen van deze nieuwe extreme hoogwaterperiode kan dus leiden tot een verbetering van het model.

- Ondanks de overschattingen van het waterpeil is het model wel in staat om de hoogwaterperiode november 2023 voldoende accuraat te modelleren. De afwijkingen tussen model en metingen zijn niet van een verontrustende omvang. Bovendien geven de tijdreeksen ook duidelijk aan dat het model in staat is om het gedrag van het systeem, met onder andere de verdeling over de verschillende afvoerwegen en de uitgestrektheid van de overstroomde zones, voldoende nauwkeurig te modelleren. Er wordt verondersteld dat de afwijkingen geen grote impact zullen hebben op de conclusies van het tweede deel van de opdracht (evaluatie van potentiële beheersmaatregelen).
- Vertrekkende van de modelmatige nacalculatie werd in sectie 2.4 een analyse van de volumebalans van de IJzer en het Lokanaal uitgevoerd. Hierbij werd getracht om de aan- en afvoeren op te delen in een aantal componenten en hun relatieve verhouding te berekenen. Dit kan helpen bij het beter begrijpen van de werking van het systeem. Uit de analyse blijkt bijvoorbeeld dat het Lokanaal tijdens de hoogwaterperiode instond voor bijna 20% van de opwaarts aangevoerde volumes.
- In sectie 2.5 werd onderzocht hoe de maximale peilen op de IJzer tijdens de hoogwaterperiode november 2023 zouden stijgen onder invloed van zeespiegelstijging. Hierbij werden verschillende groottes van zeespiegelstijging beschouwd om een idee te krijgen van de impact op korte, middellange en lange termijn. Uit de simulaties komen de volgende zaken naar voren:
 - Een zeespiegelstijging leidt tot een toename van de maximale waterpeilen op de IJzer. Deze toename neemt toe bij grotere stijgingen van de zeespiegel.
 - De impact van de zeespiegelstijging is het grootst in het meest afwaarts gedeelte van de IJzer en neemt af naarmate men verder opwaarts kijkt. Op de bovenloop blijft de impact beperkt.
 - Ter hoogte van de winterdijk aan de Blankaart wordt eveneens een toename van de maximale waterpeilen voorspeld. In elk beschouwd scenario leidt dit tot een overstroming van de winterdijk.
 - Voor de valleidorpen Roesbrugge en Stavele worden momenteel beschermingsniveaus van respectievelijk 6.5 mTAW en 6.2 mTAW beoogd met lokale beschermingsmaatregelen (dijken en keermuren). De vooropgestelde dijkhoogtes voldoende zijn om bescherming te bieden tegen een evenement zoals november 2023, inclusief zeespiegelstijging.
 - Het kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort) is waarschijnlijk kwetsbaarder voor zeespiegelstijging dan de IJzer. Dit pand kent namelijk een lager normaalpeil, waardoor de periode waarin gravitaire afvoer mogelijk is sneller zal inkrimpen dan op de IJzer.
- In een gelijkaardige analyse werd de impact van doottij nagegaan. Uit de analyse blijkt dat het moment van doottij een invloed kan hebben op de maximale waterpeilen in de IJzer. Ten opzichte van november 2023 kunnen iets hogere peilen bekomen worden indien het doottij op een ander moment zou vallen. De impact is echter vooral zichtbaar in het ingedijkte gedeelte van de IJzer, afwaarts van Diksmuide. Opwaarts van Diksmuide lijkt de impact beperkt te blijven en geen invloed te hebben op het overstromingsrisico.
- Een belangrijke vaststelling die bevestigd werd in de nacalculatie is de versterkende impact van opeenvolgende grote debietsgolven. Het debiet op de IJzer, ter hoogte van de grens met Frankrijk, bereikte tijdens november 2023 tot driemaal toe een waarde van ongeveer 90 m³/s. Dit is lager dan het debiet dat bereikt werd in november 2021 (meer dan 100 m³/s), maar leidde over het hele bekken bekeken toch tot een meer extreme gebeurtenis. Dit is het vermoedelijk grotendeels te wijten aan de eerder beperkte afvoercapaciteit van de IJzer in het vlakke landschap. Doordat het water onvoldoende snel naar zee kan en de IJzerbroeken vult, is de bergingscapaciteit van het systeem al grotendeels ingenomen bij het begin van de tweede en derde afvoergolf. Het bijkomende water wordt hier nog bovenop gestockeerd wat leidde tot de zeer hoge waterpeilen.

3 Opmaak scenario's voor analyse maatregelen

3.1 Inleiding

In het vervolg van dit rapport zullen verschillende potentiële maatregelen, met als doel om het overstromingsrisico langs de IJzer te reduceren, bestudeerd worden. Voor deze analyses zal gebruik gemaakt worden van het opgebouwde hydraulische model en de nacalculatie van november 2023. Maatregelen evalueren op basis van één enkele historische periode biedt echter onvoldoende basis om op een gefundeerde manier een meerjarenplan op te bouwen. Daarom werd gekozen om de simulaties uit te breiden met meerdere scenario's: enerzijds door meerdere historische periodes toe te voegen en anderzijds door ook rekening te houden met klimaatverandering. Hierdoor kan de impact van een maatregel geëvalueerd worden voor verschillende condities en verschillende maten van extremiteit.

In dit hoofdstuk van het rapport komen de volgende zaken aan bod:

- Selectie van de historische gebeurtenissen die gebruikt zullen worden in de scenario-analyse (§ 3.2). Hierbij is ook een korte bespreking van de modelresultaten van de historische gebeurtenissen opgenomen. Dit is dus nog zonder de beschouwde maatregelen.
- Toepassen van klimaatverandering op deze historische gebeurtenissen, zodat de toekomstige impact van de maatregelen ook groot kan worden (§ 3.3).

Onder het begrip 'scenario' wordt in dit rapport begrepen: een bepaalde historische periode met bijhorende randvoorwaarden die doorgerekend wordt in het hydraulische model. Hierbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen de historische randvoorwaarden, of de randvoorwaarden waarbij de impact van klimaatverandering, nl. zeespiegelstijging (ZSS) en toename debieten (hCC), is meegenomen.

3.2 Historische gebeurtenissen

Om de scenario analyse en de bijhorende onderzoeksvragen niet enkel uit te voeren op basis van de hoogwaterperiode van november 2023 werden meerdere gebeurtenissen beschouwd. Op die manier kan een onderscheid gemaakt worden tussen de impact van een maatregel op een gemiddelde, een uitzonderlijke of een zeer uitzonderlijke hoogwaterperiode.

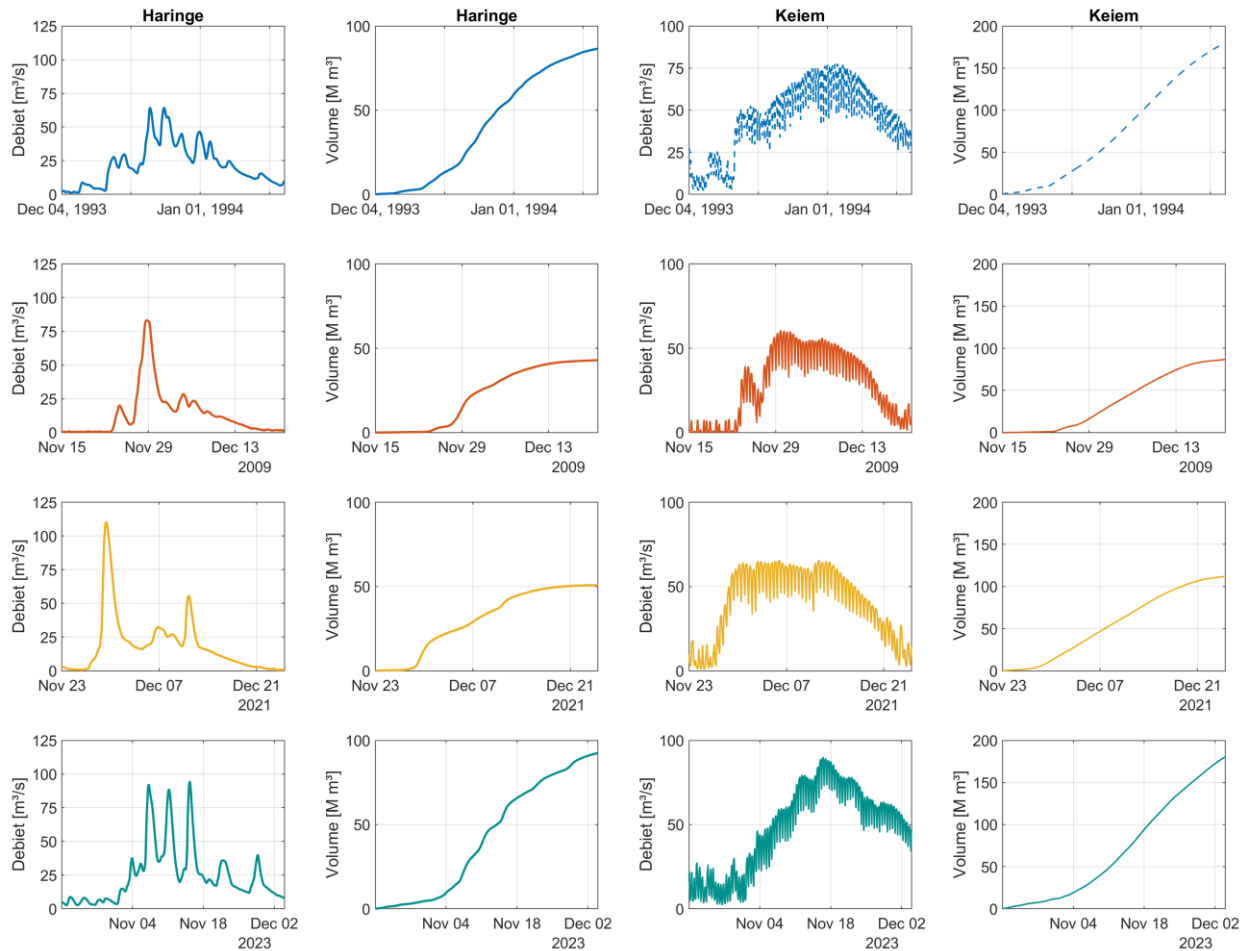
Bij het selecteren van gebeurtenissen om door te rekenen in het hydraulische model werd eerst het gebruik van maatgevende events overwogen. Deze maatgevende events leiden na simulatie in het hydraulische model tot een bepaalde terugkeerperiode (bv. 10, 100 of 1000 jaar) en liggen ook aan de basis van de fluviale overstromingskaarten. Tijdens de selectieprocedure kwam echter naar voren dat de maatgevende events voor het IJzerbekken onvoldoende rekening houden met volume aspect, zoals dat optreedt bij kort opeenvolgende debietspieken zoals bv. tijdens november 2023. Hierdoor waren de maatgevende events niet in staat om de waterpeilen van december 1993 of november 2023 te behalen. Omwille van deze reden werd uiteindelijk beslist om voor historische gebeurtenissen te kiezen.

Bij het selecteren van geschikte periodes was het belangrijk om rekening te houden met het verschillende gedrag van de gebeurtenissen over de loop van de IJzer in Vlaanderen. Een analyse van de historische gebeurtenissen toonde namelijk een belangrijk verschil tussen de bovenloop en de meer stroomafwaarts gelegen gebieden. In de meer stroomafwaarts gelegen gebieden treden de hoogste waterpeilen op wanneer er over een lange periode (zeer) grote volumes aangevoerd worden. De hoogwaterperiode van november 2023 met drie opeenvolgende pieken, telkens ca. één week gescheiden van elkaar, is hiervan een mooi voorbeeld. Wanneer er echter sprake is van één afzonderlijke debietspiek dan wordt het afwaartse gedeelte veel minder hard getroffen en wordt vooral de bovenloop geïmpacteerd.

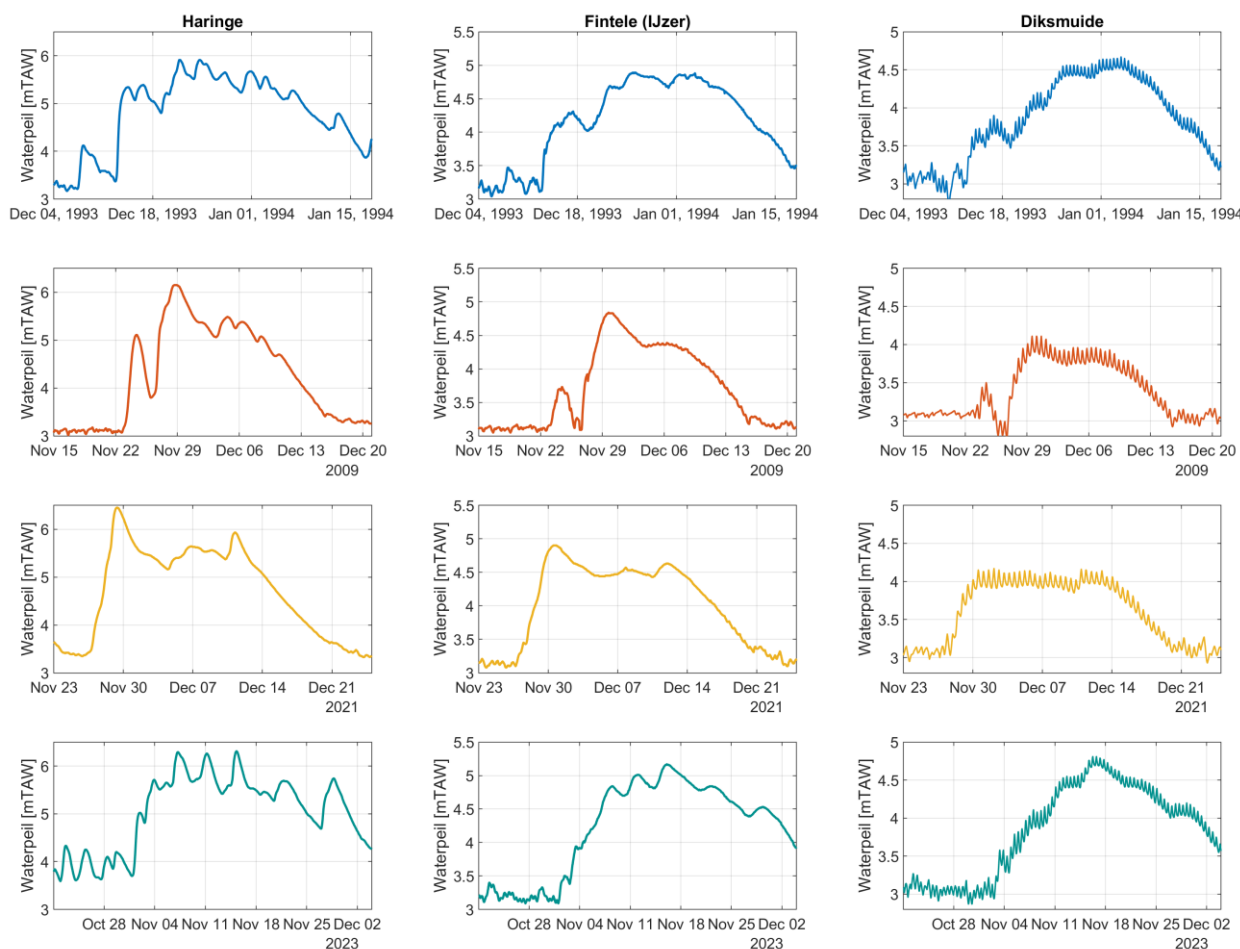
Op basis van de historische metingen werden vier historische gebeurtenissen geselecteerd om te gebruiken in de scenario analyse. De vier geselecteerde gebeurtenissen zijn hieronder opgelijst, telkens met een korte beschrijving:

- **Dec/93:** lange periode met hoge afvoeren, met daarbij een opeenvolging van drie debietspieken van eerder gemiddelde omvang. Dit leidde op de bovenloop tot maximale peilen met een gemiddelde frequentie. In Diksmuide was er echter sprake van een uitzonderlijk event met de op één na hoogst gemeten waterpeilen.
- **Nov/09:** Historische gebeurtenis die bestaat uit één debietspiek van gemiddelde omvang. Deze gebeurtenis kan relatief frequent optreden.
- **Nov/21:** Dit is de historische gebeurtenis die tot de hoogste waterpeilen op de bovenloop heeft geleid. Aangezien er slechts sprake was van één extreme debietspiek was de belasting op de benedenloop eerder gemiddeld.
- **Nov/23:** Meest recente hoogwaterperiode met drie opeenvolgende debietspieken, wat heeft geleid tot de hoogst gemeten waterlopen op de benedenloop (zie eerder). Omwille van de extremiteit van deze gebeurtenis wordt ze als zeer uitzonderlijk ingeschat.

De verschillende karakteristieken van de vier geselecteerde hoogwaterperiodes zijn getoond in Figuur 20 (debieten) en Figuur 21 (waterpeilen). Hierin kan het verschillende gedrag van de events goed vergeleken worden. De hoogwaterperiode van november 2021 kende een maximaal instromend debiet van ca. 110 m³/s, wat in Roesbrugge leidde tot een historisch maximaal peil van 6.1 mTAW en in Diksmuide tot een peil dat meerdere dagen schommelde rond 4 mTAW. De hoogwaterperiode van december 1993 kende een veel lager maximaal debiet (ca. 65 m³/s), maar leidde in Diksmuide wel tot peilen van ongeveer 4.50 mTAW. Dit omwille van het hogere totaal aangevoerde volume, ondanks de lagere piekdebieten. Voor de hoogwaterperiode van december 1993 waren nog geen debietmetingen beschikbaar in Keiem. De cijfers in rechterbovenhoek van Figuur 20 zijn modelresultaten

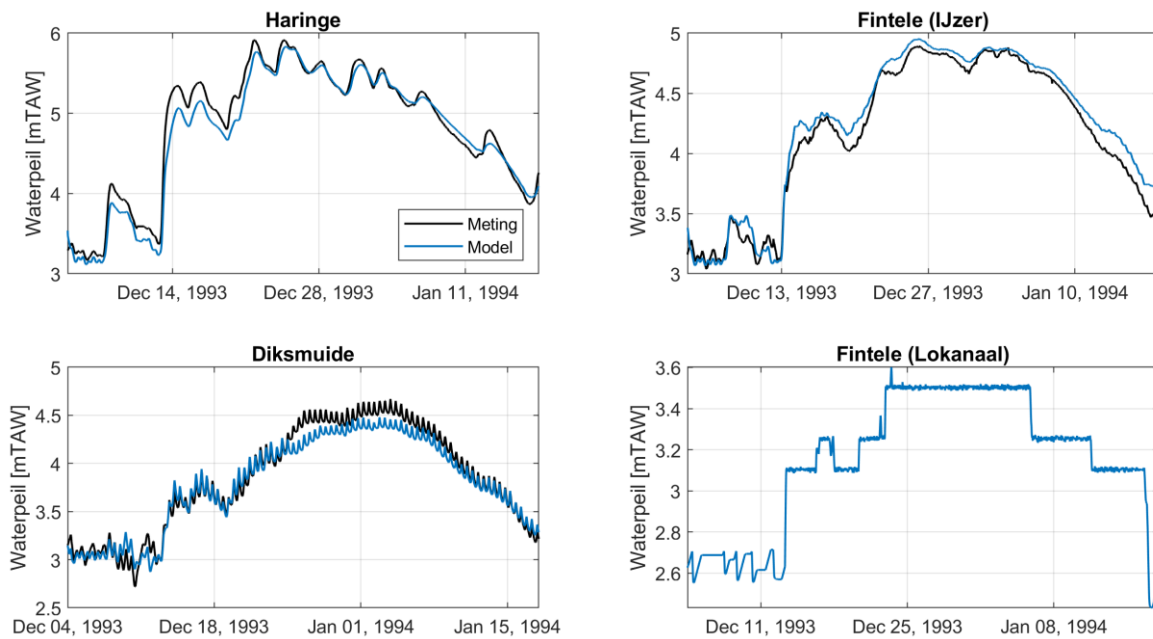


Figuur 20. Overzicht debieten bij geselecteerde historische periodes: debiet vanuit Frankrijk (links) en debiet ter hoogte van meetpost Keiem (rechts). Telkens zijn de tijdreeksen van het debiet en het cumulatieve volume getoond.

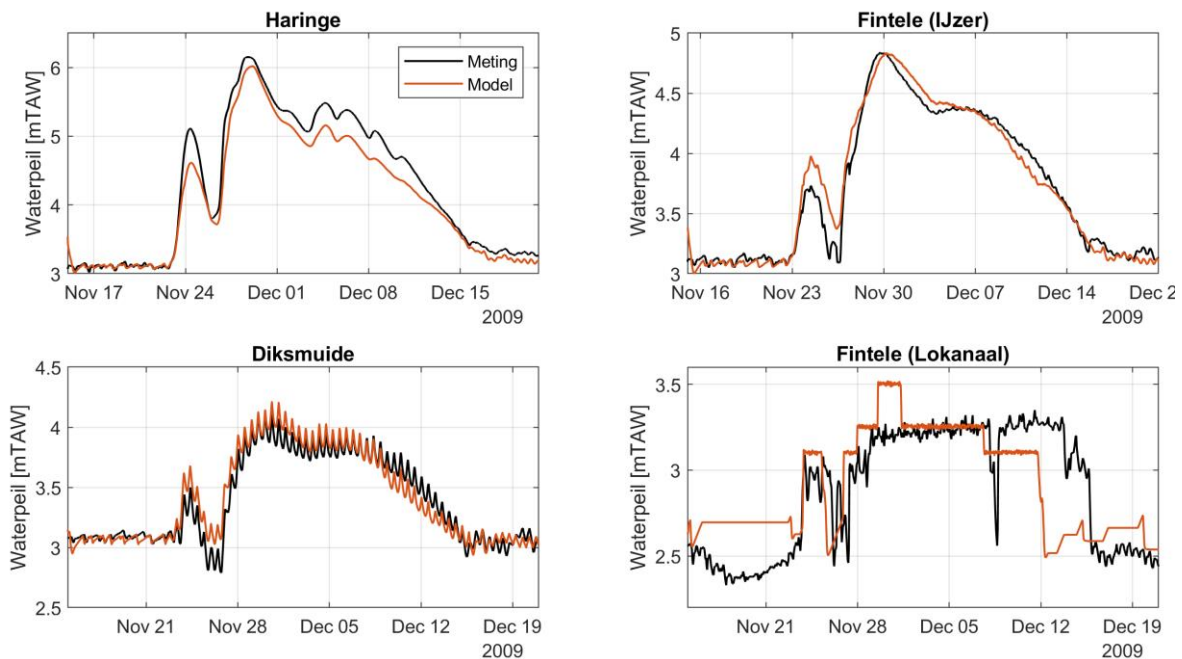


Figuur 21. Meetreeksen waterpeilen op de IJzer, horende bij geselecteerde historische periodes: Haringe (links), Fintele (midden) en in Diksmuide (rechts).

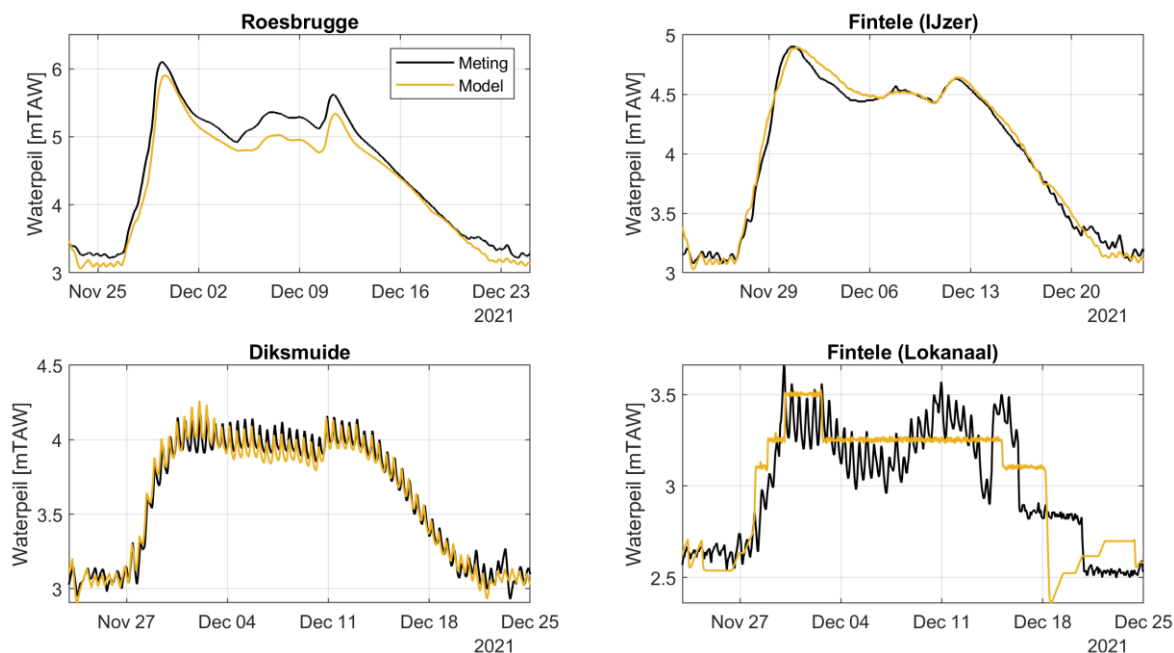
Aangezien voor de drie bijkomende historische periodes nauwelijks informatie beschikbaar was over de uitgevoerde waterbeheersingsmaatregelen werd minder aandacht besteed aan een uitvoerige nacalculatie. Er werd gebruik gemaakt van het MIKE11 IJzer model dat ook instond voor de opmaak van de overstromingskaarten. In Figuur 22 tot en met Figuur 24 zijn vergelijkingen gemaakt van de gemeten en gesimuleerde waterpeilen. Wanneer geen meting getoond is, betekent dit dat er voor die locatie en die gebeurtenis geen metingen beschikbaar waren.



Figuur 22. Vergelijkingen gemeten waterpeilen (zwart) en resultaten nacalculatie (blauw) voor vier locaties langs de IJzer, ten tijde van de hoogwaterperiode dec/1993.

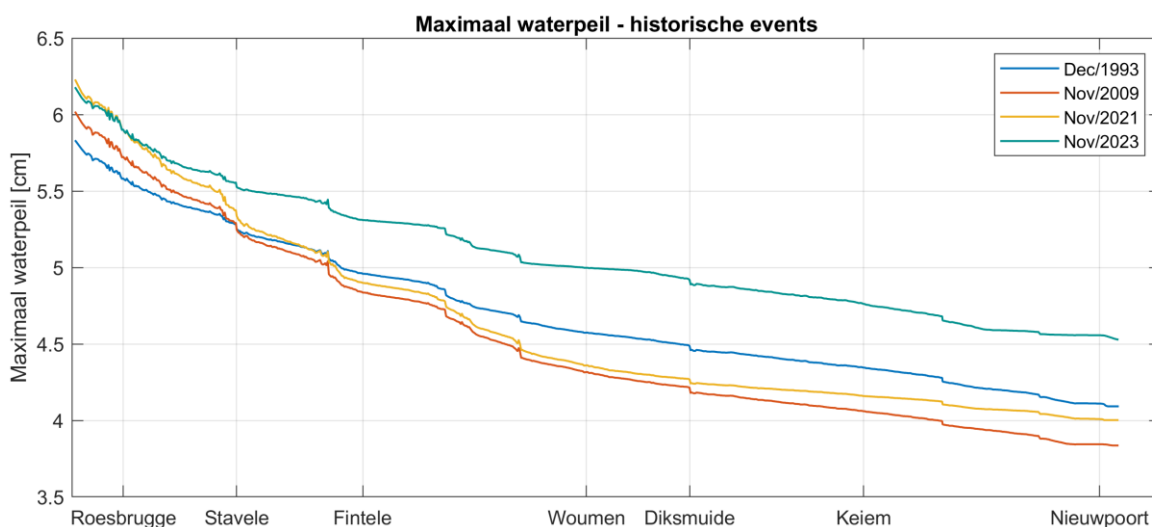


Figuur 23. Vergelijkingen gemeten waterpeilen (zwart) en resultaten nacalculatie (rood) voor vier locaties langs de IJzer, ten tijde van de hoogwaterperiode nov/2009.



Figuur 24. Vergelijkingen gemeten waterpeilen (zwart) en resultaten nacalculatie (geel) voor vier locaties langs de IJzer, ten tijde van de hoogwaterperiode nov/2021.

Figuur 25 toont voor de vier geselecteerde periodes het gesimuleerde maximale waterpeil over de volledige lengte van de IJzer. Hierin is nogmaals het verschillende gedrag van de beschouwde gebeurtenissen te zien. De events die uit één debietspiek bestaan, kennen de hoogste maxima in het meest stroomopwaarts gedeelte, waarna het maximale peil relatief snel zakt. Bij de historische hoogwaterperiodes die uit meerdere debietspieken bestaan (dec/'93 en nov/'23) zakt het maximale peil trager naarmate men verder naar afwaarts kijkt. Afwaarts van Fintele leiden ze tot hogere maximale waterpeilen, ondanks het lagere maximale debiet. Opvallend is dat het maximale waterpeil ten tijde van november 2023 ongeveer 50 cm hoger ligt dan het maximale peil ten tijde van december 1993 (t.h.v. Diksmuide). Een dergelijk groot verschil tussen de meest extreme gebeurtenis en de op één na meest extreme gebeurtenis toont de uitzonderlijkheid van de hoogwaterperiode van november 2023 aan. Op basis van de neerslagtotalen over een periode van 30 dagen werd door het KMI een terugkeerperiode van 250 jaar ingeschat voor de neerslag tijdens november 2023 (bron: rapport Taskforce Weerbare Westhoek, bijlage B1).



Figuur 25. Maximaal gesimuleerde waterpeilen op de IJzer voor de vier geselecteerde historische periodes.

3.3 Klimaatverandering

De impact van de bestudeerde maatregelen werd niet enkel begroot voor de geselecteerde historische gebeurtenissen, maar er werd ook gekeken naar de toekomstige impact van klimaatverandering. Hierbij werden twee aspecten beschouwd: de zeespiegelstijging en een toename van de opwaartse debieten.

Voor de **zeespiegelstijging** werd vertrokken van de waarden die beschreven staan in Verwaest et al. (2009). Hierin houdt men rekening met een zeespiegelstijging van 6 mm/jaar in de periode 2000 – 2050 en een stijging van 10 mm/jaar in de periode 2050 – 2100. Aangezien zowel een zeespiegelstijging als een toename van de opwaartse debieten beschouwd werd, was het noodzakelijk om een jaartal te koppelen aan de veronderstelde zeespiegelstijgingen. Hier werd gebruik gemaakt van het jaar 2050 en 2100 en werd de overeenkomstige stijging berekend op basis van de hierboven vermelde cijfers. De zeespiegelstijging werd toegepast op de historische periodes door bij de afwaartse randvoorwaarden (d.i. de waterpeilen op zee) een constante term op te tellen.

Voor het inschatten van de **toename van de opwaartse debieten** werd gebruik gemaakt van de methodiek die ook gebruikt werd voor het opstellen van de maatgevende gebeurtenissen (Leyssen et al., 2022). Dit houdt in dat de historische tijdreeksen van instromende debieten vermenigvuldigd werden met een bepaalde factor. Deze factor is functie van het deelstroomgebied dat beschouwd werd, de omvang van het debiet (constant onder een bepaalde drempel en dalend boven die drempel), de tijdshorizon (groter naarmate men verder in de toekomst kijkt) en het beschouwde klimaatscenario. Hier wordt gebruik gemaakt voor het hoog impact scenario voor fluviale wateroverlast. Dit is het zogenoemde 'hoog-winter' scenario.

De geselecteerde historische periodes inclusief klimaatverandering werden vervolgens ook doorgerekend in het hydraulische model van de IJzer. Er werd hierbij een onderscheid gemaakt tussen simulaties waarbij enkel naar de zeespiegelstijging gekeken werd en simulaties waarbij zowel zeespiegelstijging als een toename van de instromende debieten beschouwd werd. Telkens werden simulaties uitgevoerd voor de klimaatscenario's 2050 en 2100. In het uitzonderlijke geval van november 2023 werd ook nog een simulatie met 100 cm zeespiegelstijging beschouwd (zie ook § 2.5).

De resultaten van de simulaties zijn samengevat in Tabel 3 tot en met Tabel 6. Deze tabellen bevatten voor een aantal locaties langs IJzer, Lokanaal en Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort het maximaal gesimuleerde waterpeil. Elke tabel bevat cijfers voor de simulatie huidige klimaat en de simulaties toekomstig klimaat met zeespiegelstijging en al dan niet een toename van de opwaartse debieten. Uit de tabellen valt af te leiden dat de zeespiegelstijging vooral afwaarts in het systeem tot een toename van de waterpeilen leidt. Op de bovenloop van de IJzer is de impact klein tot beperkt. Wordt daar echter ook een toename van debieten aan gekoppeld, dan is ook opwaarts in het systeem een stijging van de maximale peilen te verwachten. De stijging van de waterpeilen in de bovenloop is sterker voor de gebeurtenissen met een lager piekdebiet.

Tijdens de overlegmomenten in het kader van dit onderzoek werden twee pragmatische kritische drempels voor overstroming naar voor geschoven. Namelijk een overstroming van de winterdijk aan de Blankaart en een overstroming van de IJzer ter hoogte van Diksmuide. Voor beide drempels werd een peil van 5 mTAW vooropgesteld, waarbij het criterium voor de winterdijk dan strenger is, aangezien deze meer opwaarts ligt. Uit de cijfers in onderstaande tabellen blijkt dat de kans op een overstroming van de winterdijk ook in de toekomst beperkt blijft. Voor gebeurtenissen die bestaan uit één debietspiek, zoals nov/'09 en nov/'21, blijven de waterpeilen duidelijk lager dan de kritische drempel. Zelfs in het meest extreme scenario. Bij een opeenvolging van pieken en de daarbij horende grote volumes bestaat er wel een kans op overstroming. Voor december 1993 zou dit kunnen in het meest extreme scenario (2100). Voor november 2023 is dit het geval in alle toekomstscenari'o's, aangezien er in de nacalculatie net geen sprake was van overstroming.

Tabel 3. Maximaal gesimuleerde waterpeilen (in mTAW) op een aantal locaties langs de bevaarbare waterlopen in het IJzerbekken voor de hoogwaterperiode december 1993 en verschillende klimaatscenario's.

Locatie	Historisch	2050 (ZSS)	2100 (ZSS)	2050 (hCC en ZSS)	2100 (hCC en ZSS)
Roesbrugge	5.59	5.59	5.60	5.69	5.80
Stavele	5.25	5.26	5.28	5.35	5.49
Fintele (IJzer)	4.96	4.97	5.01	5.07	5.32
Winterdijk Blankaart	4.54	4.64	4.77	4.81	5.12
Woumen	4.57	4.63	4.77	4.81	5.11
Diksmuide	4.48	4.57	4.74	4.74	5.07
Keiem	4.34	4.47	4.67	4.62	5.01
Nieuwpoort (IJzer)	4.10	4.29	4.57	4.42	4.90
Fintele (Lokanaal)	3.60	3.68	3.87	3.72	3.96
Veurne	3.51	3.60	3.80	3.62	3.88
Nieuwpoort (KDN)	3.44	3.53	3.75	3.52	3.82

Tabel 4. Maximaal gesimuleerde waterpeilen (in mTAW) op een aantal locaties langs de bevaarbare waterlopen in het IJzerbekken voor de hoogwaterperiode november 2009 en verschillende klimaatscenario's.

Locatie	Historisch	2050 (ZSS)	2100 (ZSS)	2050 (hCC en ZSS)	2100 (hCC en ZSS)
Roesbrugge	5.72	5.73	5.75	5.83	5.86
Stavele	5.25	5.25	5.26	5.34	5.39
Fintele (IJzer)	4.83	4.85	4.89	4.95	5.05
Winterdijk Blankaart	3.67	3.79	4.06	4.14	4.44
Woumen	4.31	4.35	4.40	4.39	4.45
Diksmuide	4.21	4.27	4.34	4.32	4.42
Keiem	4.06	4.14	4.29	4.20	4.36
Nieuwpoort (IJzer)	3.84	3.96	4.20	4.03	4.26
Fintele (Lokanaal)	3.52	3.52	3.66	3.57	3.82
Veurne	3.36	3.43	3.56	3.47	3.74
Nieuwpoort (KDN)	3.26	3.34	3.51	3.41	3.69

Tabel 5. Maximaal gesimuleerde waterpeilen (in mTAW) op een aantal locaties langs de bevaarbare waterlopen in het IJzerbekken voor de hoogwaterperiode november 2021 en verschillende klimaatscenario's.

Locatie	Historisch	2050 (ZSS)	2100 (ZSS)	2050 (hCC en ZSS)	2100 (hCC en ZSS)
Roesbrugge	5.90	5.90	5.91	5.93	5.98
Stavele	5.34	5.34	5.34	5.37	5.41
Fintele (IJzer)	4.90	4.91	4.97	4.94	5.03
Winterdijk Blankaart	4.18	4.22	4.38	4.34	4.60
Woumen	4.36	4.37	4.41	4.39	4.59
Diksmuide	4.26	4.28	4.36	4.30	4.55
Keiem	4.16	4.20	4.31	4.22	4.49
Nieuwpoort (IJzer)	4.01	4.08	4.23	4.10	4.43
Fintele (Lokanaal)	3.53	3.59	3.68	3.60	3.76
Veurne	3.44	3.51	3.59	3.51	3.68
Nieuwpoort (KDN)	3.37	3.45	3.53	3.45	3.61

Tabel 6. Maximaal gesimuleerde waterpeilen (in mTAW) op een aantal locaties langs de bevaarbare waterlopen in het IJzerbekken voor de hoogwaterperiode november 2023 en verschillende klimaatscenario's.

Locatie	Historisch	2050 (ZSS)	2100 (ZSS)	2050 (hCC en ZSS)	2100 (hCC en ZSS)
Roesbrugge	5.90	5.90	5.92	5.95	6.04
Stavele	5.52	5.52	5.57	5.58	5.73
Fintele (IJzer)	5.29	5.32	5.38	5.39	5.56
Wnterdijk Blankaart	5.00	5.03	5.12	5.11	5.34
Woumen	4.99	5.02	5.11	5.10	5.32
Diksmuide	4.90	4.94	5.06	5.03	5.25
Keiem	4.75	4.81	4.98	4.88	5.16
Nieuwpoort (IJzer)	4.54	4.62	4.85	4.70	5.05
Fintele (Lokanaal)	3.72	3.72	3.84	3.75	3.91
Veurne	3.58	3.62	3.75	3.66	3.84
Nieuwpoort (KDN)	3.48	3.54	3.70	3.61	3.75

Bij de modelresultaten van het scenario november 2023 met projectie naar 2100 (inclusief zeespiegelstijging en toename debieten) moet opgemerkt worden dat deze aanzienlijk hoger liggen dan het bereik waarbinnen het hydraulische model gekalibreerd werd. Dergelijk hoge gesimuleerde waterpeilen zijn daarom vermoedelijk niet betrouwbaar en moeten dus met de nodige aandacht geïnterpreteerd worden.

In werkelijkheid zullen deze hoge waterpeilen bijvoorbeeld leiden tot een overstroming van de dijken afwaarts van Diksmuide, wat niet opgenomen is in het model. **De gerapporteerde peilen in de meest rechtse kolom van Tabel 6 kunnen bijgevolg als een overschatting geïnterpreteerd worden.** Omwille van de grote modelonzekerheden bij dit scenario lijkt het aangewezen om dit scenario niet verder te beschouwen in de analyses.

4 Analyse impact maatregelen

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt een scenario-analyse waarin gezocht werd naar maatregelen die het overstromingsrisico langs de IJzer kunnen verkleinen. In deze analyse werden verschillende types van maatregelen met bijhorende varianten beschouwd. Bij het doorrekenen en evalueren van de verschillende maatregelen werd vooral gefocust op de hydraulische meerwaarde ervan. Andere aspecten (bv. operationeel, technisch, financieel, kosten vs. baten, ...) werden niet of slechts in beperkte mate meegenomen in de uitgevoerde analyses. Het wordt hier alvast benadrukt dat al deze aspecten ook moeten meegenomen worden in het beslissingsproces. De analyses en besprekingen in dit hoofdstuk dienen dus vooral om een beter zicht te krijgen op de hydraulische impacts van de beschouwde maatregelen, wat op zijn beurt kan helpen bij het selecteren van maatregelen en de uitwerking van een lange termijnstrategie voor het IJzerbekken.

Tijdens de uitvoering van de opdracht werden heel wat maatregelen en varianten bestudeerd. Deze zullen niet allemaal of niet even uitgebreid besproken worden hieronder. Er is getracht om het rapport te beperken tot de belangrijkste hoofdlijnen en conclusies. De bestudeerde maatregelen werden daarom gegroepeerd in zogenaamde bouwstenen. Binnen elke bouwsteen zijn dan maatregelen met een gelijkaardige locatie of doel en meestal ook impact terug te vinden. Dit is opnieuw gedaan met de intentie om op een overzichtelijke manier een hulpmiddel te bieden bij het uitwerken van een lange termijnstrategie. Per bouwsteen worden de belangrijkste elementen en conclusies besproken in § 4.2 tot § 4.7.

4.2 Bouwsteen 1: Afvoercapaciteit IJzer in Nieuwpoort vergroten

Deze eerste bouwsteen omvat maatregelen die als doel hebben om de waterafvoer van de IJzer naar zee te vergroten en die zich in de directe omgeving van de Ganzepoot in Nieuwpoort bevinden. Het gaat hierbij om het plaatsen van bijkomende pompcapaciteit aan de Iepersluis; het inzetten van de stormvloedkering om langer gravitair te kunnen afvoeren vanuit de IJzer; of het creëren van extra gravitaire afvoercapaciteit via de Kreek van Nieuwendamme. Hieronder worden drie onderzoeksvragen besproken:

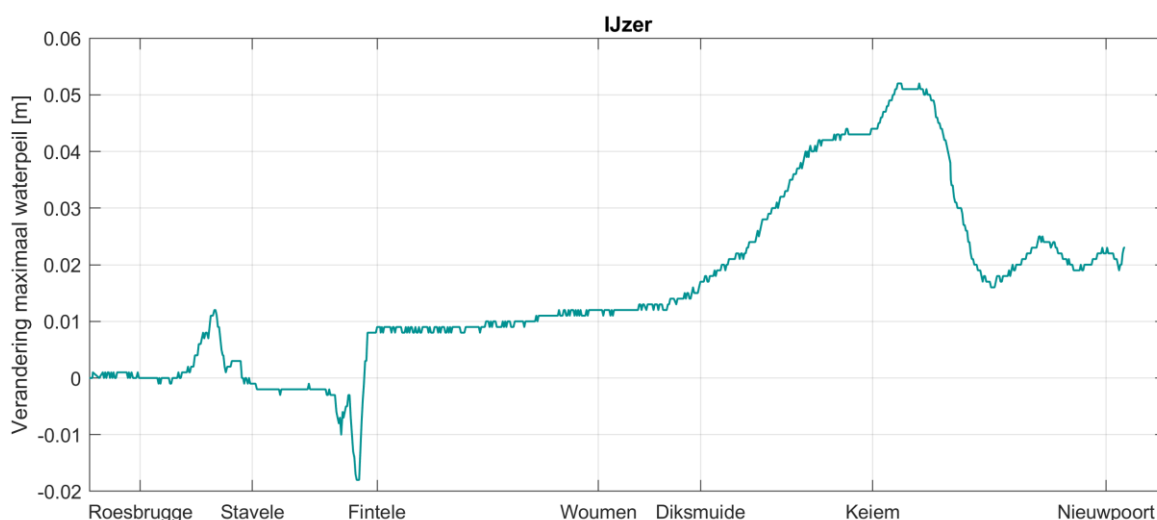
- Wat was de impact van de bijkomend geplaatste pompcapaciteit tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 (§ 4.2.1)?
- Wat is de impact van nog extra bijkomende pompcapaciteit (§ 4.2.2)?
- Wat is de meerwaarde van een mogelijke inzet van de stormvloedkering (§ 4.2.3)?
- Wat is de meerwaarde van een nieuwe verbinding tussen IJzer en Kreek van Nieuwendamme om langs die weg extra water af te voeren? (§ 4.2.4).

4.2.1 Impact bijkomende pompcapaciteit Ganzepoot t.t.v. november 2023

Tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 werden op verschillende plaatsen mobiele pompen geplaatst. Vanuit de IJzer werd in Nieuwpoort water verpompt over de Iepersluis (richting zee) en aan de Sint-Jorissluis (richting Kanaal Plassendale – Nieuwpoort). Zie Figuur 2 voor een overzicht van de geplaatste pompcapaciteit in november 2023. In een eerste analyse werd nagegaan wat de impact was van de bijkomende mobiele pompen aan de Ganzepoot ten tijde van nov/2023. Om deze impact te begroten werden de mobiele pompen aan de Ganzepoot verwijderd uit het model van de nacalculatie en werd de simulatie opnieuw uitgevoerd. Hierbij werd verondersteld dat alle andere uitgevoerde maatregelen wel behouden bleven. Het verschil tussen beide simulaties kan dan beschouwd worden als de bijdrage van de mobiele pompen.

Lengteprofielen van het verschil in maximale waterpeil tussen beide simulaties zijn terug te vinden in Figuur 26. Voor de locaties langs de IJzer kan vastgesteld worden dat de grootste verschillen te zien zijn tussen Diksmuide en Nieuwpoort. Opwaarts van Diksmuide neemt de impact van de bijkomende pompen bijna volledig af naar nul. In Roesbrugge is de impact zo goed als verdwenen. Net opwaarts van Fintele en van Stavele vertoont de grafiek enkele afwijkingen ten opzichte van de trend (bv. negatieve waarden opwaarts van Fintele). Deze zijn het gevolg van lokale kleine instabiliteiten in de modelresultaten en dienen bijgevolg niet als significant beschouwd te worden.

Concluderend kan gesteld worden dat **de pompen zorgen voor een daling van de maximale waterpeilen in het meest afwaartse en ingedijkte deel van de IJzer. In het meer opwaartse gedeelte, waar wel kritische overstromingen optraden, is het effect van de bijkomend geplaatste pompen nagenoeg verwaarloosbaar.** Deze beperkte daling van de maximale waterpeilen is deels te verklaren door het moment waarop de mobiele pompen geplaatst werden. Dit was relatief kort voor het optreden van de maximale peilen, en dit werd ook zo opgenomen in het hydraulische model. Hierdoor kon voor het optreden van de maxima slechts een beperkt volume verpompt worden en blijft de impact dus relatief klein.



Figuur 26. Lengteprofiel van de toename van het maximale waterpeil in de simulatie zonder bijkomende pompen aan de Ganzepoot t.o.v. nacalculatie nov/23.

4.2.2 Bijkomende pompcapaciteit IJzer

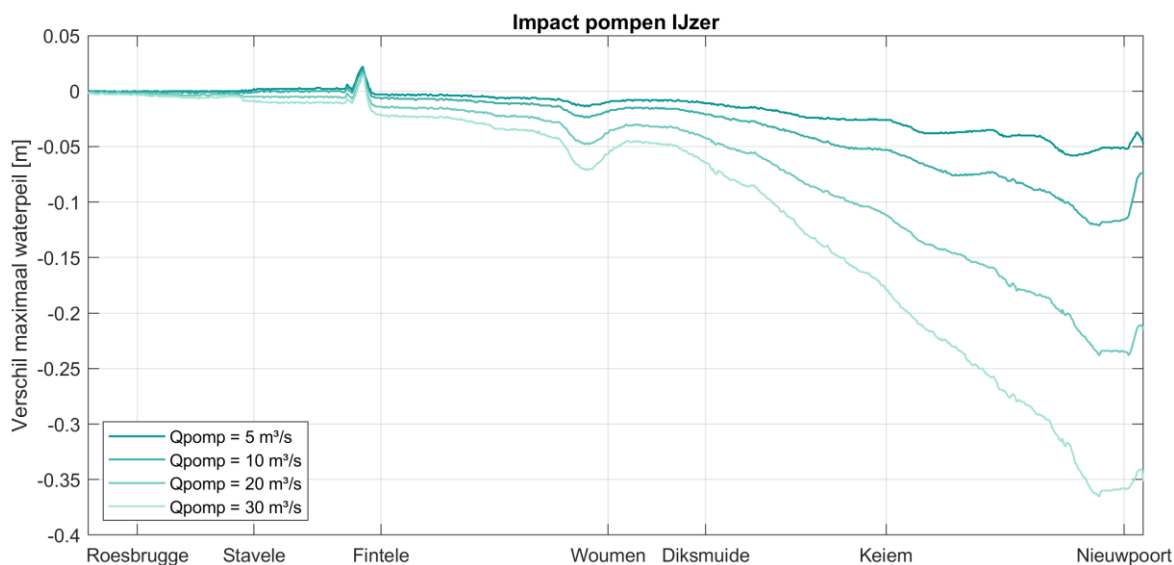
In de vorige sectie werd begroot wat er zou gebeurd zijn indien er tijdens de was van november 2023 geen mobiele pompen geplaatst zouden zijn aan de Ganzepoot. In deze sectie wordt een omgekeerde analyse uitgevoerd, waarbij bekeken zal worden wat de bijdrage is van extra pompcapaciteit. De simulaties hier werden iets anders aangepakt dan in de vorige sectie. Daar werd nl. nog rekening gehouden met de periode van plaatsen van de mobiele pompcapaciteit ten tijde van november 2023. Hier werd er voor gekozen om de pompen in te schakelen vanaf het moment dat het waterpeil ter hoogte van Diksmuide hoger komt dan 4.2 mTAW. De aanwezige pompcapaciteit kan dan eerder als permanent dan mobiel beschouwd worden. De capaciteit van dit permanente pompstation werd in een aantal stappen verhoogd om zo een breed bereik te bekomen. Een analyse van deze resultaten moet dan inzichten kunnen bieden in de meerwaarde van een permanent pompstation aan de lepersluis.

In totaal werden er voor deze analyse zes bijkomende simulaties uitgevoerd met verschillende pompcapaciteiten aan de lepersluis, nl. 5, 10, 15, 20, 25 en 30 m³/s. Bij het toevoegen van deze pompen aan het model werden een aantal veronderstellingen gemaakt:

- De pompcapaciteit wordt enkel ingezet wanneer er geen gravitaire afvoer door de lepersluis en leperstuw mogelijk is.

- De bijhorende pompcapaciteit verpompt het water van de IJzer naar de havengeul. De capaciteit wordt dus niet opgesplitst in een gedeelte dat over de Iepersluis gaat en een gedeelte dat over de Sint-Jorissluis gaat. Voor het hydraulische gedrag van de IJzer stroomopwaarts van de Ganzepoot maakt dit vermoedelijk geen verschil.
- Er wordt abstractie gemaakt van de fysische randvoorwaarden aan de Ganzepoot. Er wordt dus verondersteld dat de bijkomende pompcapaciteit geplaatst kan worden, dat de energievoorzieningen aanwezig zijn en dat het plaatsen van de pompen geen impact heeft op de andere afvoerwegen. In realiteit zal dit vermoedelijk niet het geval zijn: het verkrijgen van zeer grote (mobiele) pompcapaciteiten en de bijhorende energievoorzieningen is niet evident. Ook de aanvoer van water naar dergelijke grote pompstations kan problematisch zijn, waardoor de pompen niet aan volledige capaciteit kunnen werken.

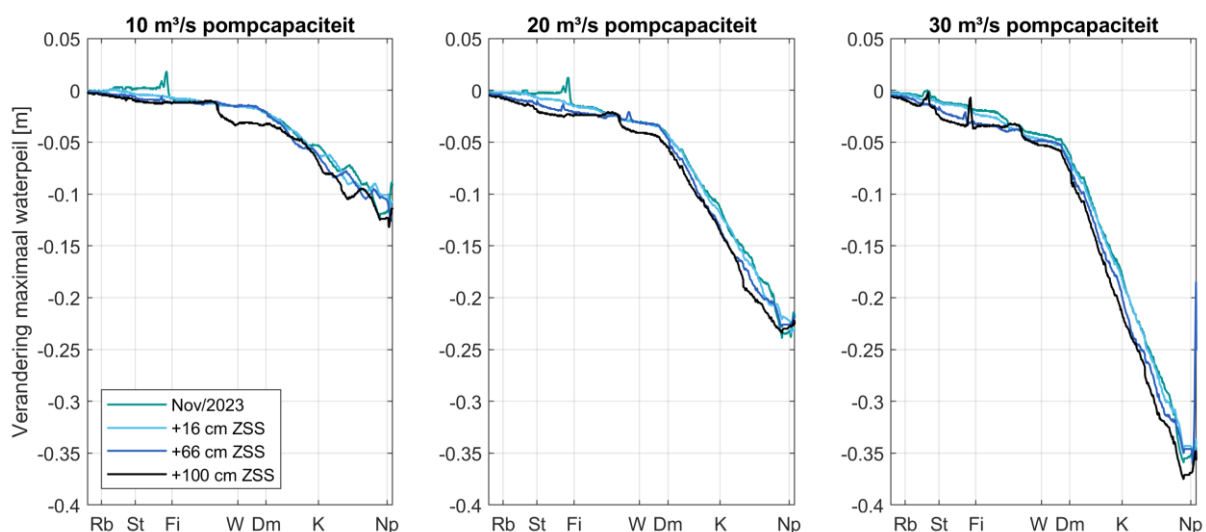
Figuur 27 toont een lengteprofiel met de verandering van het maximale waterpeil op de IJzer en dit voor een aantal van de beschouwde pompcapaciteiten aan de Ganzepoot (Iepersluis). Uit deze grafieken kan afgeleid worden dat het plaatsen van een pompstation aan de Ganzepoot kan leiden tot een daling van de maximale waterpeilen op de IJzer. Dit sluit aan bij de conclusie van de vorige sectie. De daling van het maximale waterpeil is groter naarmate de pompcapaciteit toeneemt. Opvallend is echter dat de sterkste afname steeds zichtbaar is in dezelfde zone. **Het is dus niet zo dat een toename van de pompcapaciteit leidt tot een impact die verder stroomopwaarts reikt.** Hier zijn vermoedelijk twee redenen voor. Enerzijds is er het beperkte bodemverhang van de IJzer waardoor het water onvoldoende snel in Nieuwpoort geraakt. Anderzijds speelt de indijking afwaarts van Diksmuide ook een rol. In deze zone zal een daling van 1 cm sneller gerealiseerd kunnen worden omdat hiervoor een kleiner volume verpompt moet worden. In de niet ingedijkte zones, waar dus sprake is van overstromingen en een groter wateroppervlak, zal een veel groter volume verplaatst moeten worden om eenzelfde daling van 1 cm te bekomen.



Figuur 27. Lengteprofiel van de verandering van het maximaal waterpeil langs de IJzer in functie van pompcapaciteit aan Ganzepoot.

Een verdere analyse van Figuur 27 geeft aan dat de daling van de maximale waterpeilen quasi evenredig is met de geplaatste pompcapaciteit. Bijvoorbeeld: de daling bij een capaciteit van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ is twee keer zo groot als de daling bij een capaciteit van $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Het wordt wel verwacht dat de impact van bijkomende pompen bij hoge capaciteiten zal dalen, omdat de aanvoer van water naar de pompen dan limiterend kan worden. De gemiddelde bijkomende daling heeft een profiel dat aansluit bij eerdere vaststellingen in dit onderzoek: de impact van bijkomende pompcapaciteit is het grootst net opwaarts van de Ganzepoot en neemt af naarmate men verder naar opwaarts gaat. Ter hoogte van Diksmuide komt een bijkomende pompcapaciteit van $5 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld overeen met een daling van het maximale waterpeil met iets meer dan 1 cm. Nog verder naar opwaarts (bv. Fintele) lijkt de impact verwaarloosbaar.

Tot slot werd ook nog bekeken of de impact van de bijkomende permanente pompcapaciteit wijzigt bij zeespiegelstijging. Dat houdt in dat de voorgaande simulaties opnieuw werden uitgevoerd, waarbij op alle afwaartse randvoorwaarden een zeespiegelstijging werd toegepast. Alle andere randvoorwaarden (instromende debieten) en de regelingen voor de hydraulische structuren (pompen en andere) bleven ongewijzigd. De resultaten van deze analyse zijn bondig samengevat in Figuur 28. Hierin is de daling van het maximale waterpeil getoond voor verschillende pompcapaciteiten en verschillende stijgingen van de zeespiegel, toegepast op de hoogwaterperiode van november 2023. Telkens wordt de daling van het waterpeil bekeken ten opzichte van het overeenkomstige scenario (inclusief zeespiegelstijging) zonder bijkomende pompcapaciteit. De resultaten liggen in lijn met wat eerder al vastgesteld werd: de impact van de pompen is het grootst in het meest afwaartse gedeelte van de IJzer. Ter hoogte van de samenvloeiing van IJzer en Handzamevaart is een knikpunt te zien in de curve. Opwaarts van dit punt is de daling van de maximale waterpeilen relatief klein, ook bij grote pompcapaciteiten. **Daarnaast is ook te zien dat een zeespiegelstijging nauwelijks invloed heeft op de impact van de maatregel.** Bij beperkte zeespiegelstijging is de daling van de maximale waterpeilen bij een gelijke pompcapaciteit quasi dezelfde. Bij een verdere stijging van de zeespiegel neemt de impact van bijkomende pompcapaciteit heel beperkt toe: de waterpeilen zullen iets meer zakken. Dit is het gevolg van de afname van het venster waarin gravitair geloosd kan worden, waardoor de pompen langer zullen draaien.



Figuur 28. Daling maximale waterpeilen op de IJzer tijdens de hoogwaterperiode november 2023, bij verschillende pompcapaciteiten en verschillende zeespiegelstijgingen.

4.2.3 Inzet stormvloedkering

De momenteel in aanbouw zijnde stormvloedkering in Nieuwpoort zou mogelijkheden kunnen bieden om de afvoer aan de Ganzepoot iets minder afhankelijk te maken van het getij op zee. Indien de stormvloedkering gesloten wordt bij een voldoende laag peil kan in de zone tussen de Ganzepoot en de stormvloedkering nog een aanzienlijke hoeveelheid water gebufferd worden. Dit moet toelaten dat het waterpeil tussen Ganzepoot en de stormvloedkering minder snel stijgt, waardoor de IJzer langer gravitair water zou kunnen afvoeren. In dit deel van het onderzoek werd nagegaan of het sluiten van de stormvloedkering (tijdens hoogwaterperiodes in het binnenland) een meerwaarde heeft op de waterbeheersing.

De stormvloedkering werd op een relatief eenvoudige manier toegevoegd aan het MIKE11 model. Ter hoogte van de locatie van de stormvloedkering werd in het model een regelbare structuur voorzien. Deze structuur heeft een breedte van 38 m, wat overeenkomt met de hoofdgeul van de stormvloedkering. De regelbare structuur krijgt twee standen: een open toestand waarbij ze volledig onder water ligt op -4.65 mTAW en er dus doorstroming mogelijk is. In gesloten toestand komt de bovenkant van de structuur op 8

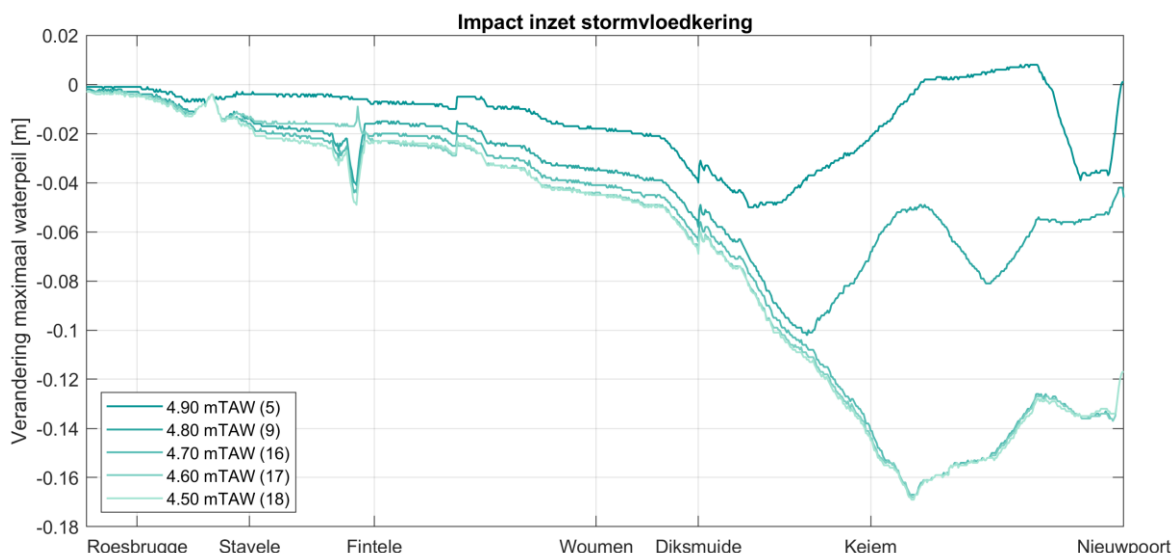
mTAW te liggen en is er dus geen doorstroming mogelijk. In het ontwerp van de stormvloedkering zijn ook nog twee grote omloopriolen voorzien. Deze werden niet mee opgenomen in het model. Deze relatief eenvoudige voorstelling van de stormvloedkering in het hier toegepaste model vormt waarschijnlijk geen probleem voor de hier behandelde onderzoeksvragen. Het gaat hier immers in eerste instantie om een verkennende berekening van de mogelijke impact. In die context is het vooral van belang dat er een duidelijk onderscheid is tussen de open en gesloten toestand van de kering.

In de simulaties werden de volgende criteria gebruikt voor inzet van de stormvloedkering:

- De stormvloedkering wordt enkel ingezet tijdens noodsituaties op de IJzer. Onder noodsituatie werd hier bergrepen dat het waterpeil in Diksmuide boven een bepaalde drempel stijgt. Verschillende drempelhoogtes werden bestudeerd om de impact hiervan te evalueren.
- De stormvloedkering sluit bij laagtij. Op die manier wordt de grootst mogelijke buffer gecreëerd tussen de Ganzepoot en de stormvloedkering. Er werd eerst een verkennend onderzoek uitgevoerd om na te gaan of het later sluiten van de kering tot een grotere impact zou leiden. Dit bleek niet het geval te zijn.
- De stormvloedkering gaat terug open wanneer het peil in de havengeul hoger is dan het peil op zee, mits een kleine marge van 5 cm.
- De stormvloedkering gaat ook terug open wanneer het peil in de havengeul te hoog zou worden. Dit is een noodmaatregel die ervoor moet zorgen dat het water niet terug naar het binnenland stroomt. Dit kwam in de uitgevoerde simulaties echter nooit aan bod.

Bij het uitvoeren van de simulaties bij deze onderzoeksvraag werd niets gewijzigd aan de andere maatregelen die uitgevoerd werden tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 en die opgenomen zijn in de nacalculatie. Dit betekent o.a. dat er nog steeds pompen actief zijn aan de Ganzepoot, indien er geen gravitaire afvoer mogelijk is, of dat er nog steeds water afgeleid wordt van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort via het Sas van Dierendonck.

Figuur 29 toont de impact van het inzetten van de stormvloedkering op de maximale waterpeilen in de IJzer. Elke lijn in de grafiek komt overeen met een aparte variant binnen dit scenario. De varianten verschillen in het aantal sluitingen van de stormvloedkering. In variant '4.50 mTAW', bijvoorbeeld, zal de stormvloedkering gesloten worden wanneer het waterpeil in Diksmuide hoger is dan 4.50 mTAW en dit tijdens elke getijcyclus. Voor de vijf beschouwde varianten kan een daling van de maximale waterpeilen op de IJzer vastgesteld worden. Deze **daling is het grootst in het meest afwaartse gedeelte en neemt af naarmate men verder naar opwaarts kijkt**. Op de bovenloop van de IJzer is de impact opnieuw klein tot verwaarloosbaar. Dit sluit aan bij de conclusies van § 4.2.2 en is niet echt een verrassing. **De impact van het inzetten van de stormvloedkering is immers gelijkaardig aan het voorzien van bijkomende pompcapaciteit:** in de periode waarin oorspronkelijk geen gravitaire afvoer mogelijk was, wordt nu bijkomende afvoercapaciteit voorzien. In orde grootte komen de varianten '4.50 mTAW', '4.60 mTAW' en '4.70 mTAW' bij benadering overeen met een pompcapaciteit van 20 m³/s.



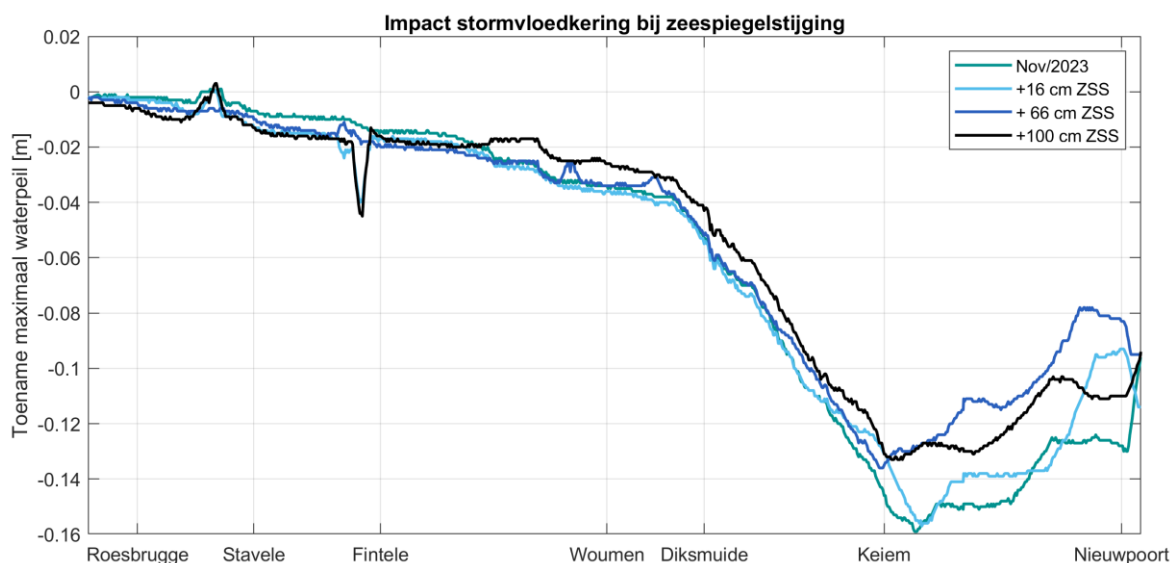
Figuur 29. Verandering van het maximale waterpeil op de IJzer bij inzet van de stormvloedkering tijdens de hoogwaterperiode van november 2023. Elke lijn toont de resultaten van een andere variant. Het cijfer tussen haken geeft het aantal sluitingen van de kering bij die variant.

Bij het evalueren van de maatregel 'inzet stormvloedkering' is het belangrijk om aandacht te besteden aan het aantal sluitingen van de kering. Enerzijds bepaalt dit de impact: hoe hoger de drempel voor inzet van de stormvloedkering, hoe kleiner het aantal sluitingen, maar ook hoe kleiner de daling van de maximale waterpeilen. **Vanuit hydraulisch standpunt lijkt het dus aangewezen om het aantal sluitingen te maximaliseren.** Dit conflicteert echter met de bouwtechnische eigenschappen van de stormvloedkering. Om de voorziene levensduur van de constructie en de toegankelijkheid van de haven te verzekeren, dient het aantal sluitingen beperkt te worden. De kering is nl. voorzien op een maximaal aantal sluitingen tijdens stormcondities op zee om vermoeiing van de stalen constructie zoveel mogelijk te beperken. Het inzetten van de kering tijdens hoogwaterperiodes in het binnenland kan het aantal beschikbare sluitingen mogelijks naar beneden halen en aldus de levensduur van de kering inkorten. Op dit moment is het echter onvoldoende geweten in welke mate de condities tijdens hoogwaterperiodes in het binnenland zouden bijdragen aan de vermoeiing van de kering.

De grafieken in Figuur 29 geven duidelijk aan dat **een groter aantal sluitingen tot een sterkere daling van het maximale waterpeil leiden.** Hieruit valt eveneens af te leiden dat één enkele sluiting vermoedelijk amper effect zal hebben, maar dat er meerdere sluitingen na elkaar nodig zijn indien men met deze maatregel een significante impact wil bereiken. De grafieken lijken ook te suggereren dat er mogelijks een bovengrens is aan de meerwaarde van het inzetten van de stormvloedkering. De lijnen voor varianten 4.50, 4.60 en 4.70 mTAW liggen nl. quasi op elkaar. Aangezien voor deze analyse slechts één historische gebeurtenis beschouwd werd, kan op dit moment niet uitgesloten worden dat dit te wijten is aan de specifieke omstandigheden van de hoogwaterperiode van november 2023.

Bij het scenario 'inzet stormvloedkering' werd ook nog een variant bekeken, waarin de aanwezige pompcapaciteit ten tijde van november 2023 niet aan de Ganzepoot, maar aan de stormvloedkering zelf geplaatst werd. De pompen zouden dan in werking kunnen treden op het moment dat de kering gesloten wordt. Hierdoor zal de buffer tussen Ganzepoot en stormvloedkering zich trager vullen en kan er nog langer gravitair geloosd worden. Het toepassen van dit scenario leidt tot een verdere daling van de waterpeilen op de IJzer. Opnieuw blijkt dat deze impact het grootst is in het meest afwaartse gedeelte en afneemt voor de meer opwaarts gelegen delen van het stroomgebied. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de pompen enkel een meerwaarde hebben indien de kering gesloten wordt. Een scenario waarbij gepompt zou worden en de kering tegelijk openblijft, is in deze opstelling niet meer mogelijk.

Tot slot werd ook nog bekeken of de impact van het inzetten van de stormvloedkering wijzigt bij zeespiegelstijging. Hiervoor werd de variant '4.70 mTAW' gekozen en werd de hoogwaterperiode november 2023 nogmaals doorgerekend, maar nu met verschillende waarden voor de zeespiegelstijging. De resultaten van deze analyse zijn terug te vinden in Figuur 30. Hierin is de daling van het maximale waterpeil getoond voor verschillende stijgingen van de zeespiegel, toegepast op de hoogwaterperiode van november 2023. Telkens wordt de daling van het waterpeil bekeken ten opzichte van het overeenkomstige scenario (inclusief zeespiegelstijging) zonder inzet van de stormvloedkering. De resultaten liggen in lijn met wat eerder al vastgesteld werd: de impact is het grootst in het meest afwaartse gedeelte van de IJzer. In geval van een kleine zeespiegelstijging (+ 16 cm) blijft de daling van het maximale waterpeil nagenoeg gelijk. Bij de grootste zeespiegelstijging (+100 cm) kan een lichte daling van de impact vastgesteld worden. **Deze daling is echter beperkt en de totale impact blijft in dezelfde grootteorde liggen.**



Figuur 30. Verandering maximale waterpeilen op de IJzer tijdens de hoogwaterperiode november 2023, bij inzet stormvloedkering en verschillende zeespiegelstijgingen.

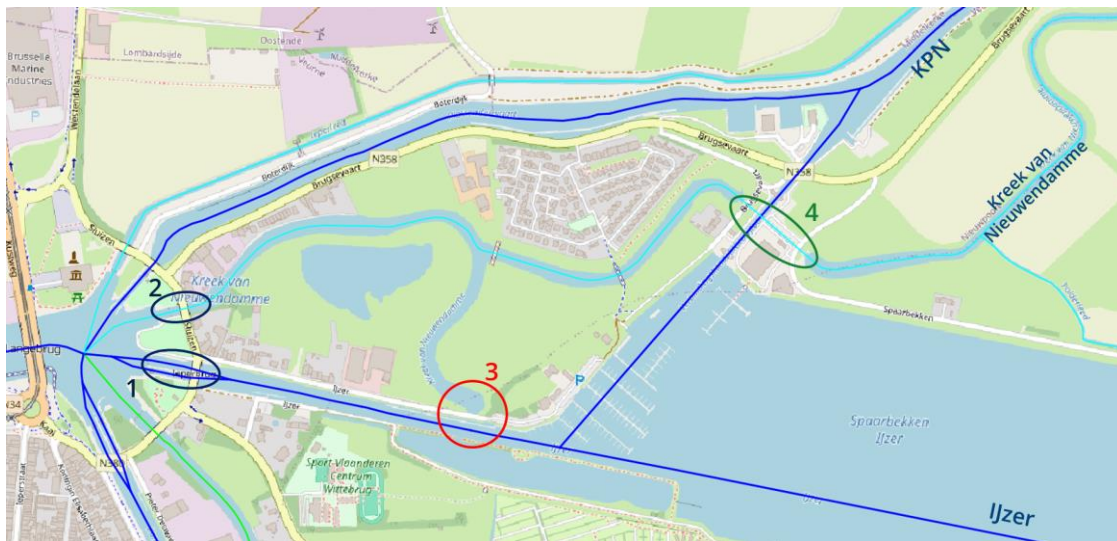
4.2.4 Spuien via Kreek van Nieuwendamme

De Kreek van Nieuwendamme is een onbevaarbare waterloop van tweede categorie die vanuit oostelijke richting naar de Ganzepoot stroomt en daar uitmondt in zee. De uitwatering gebeurt via het Springsas, dat zich tussen het Gravensas (uitwatering KPN) en het Iepersas (uitwatering IJzer) bevindt. Een overzicht van de huidige situatie is getoond in Figuur 31. Het streefpeil van de Kreek van Nieuwendamme, opwaarts van het Springsas ligt tussen 1.8 à 1.9 mTAW, wat aanzienlijk lager is dan de streefpeilen van de IJzer en het Kanaal Plassendale-Nieuwpoort. Door dit relatief lage streefpeil zal de Kreek van Nieuwendamme sneller de gevolgen van zeespiegelstijging voelen: omwille van de stijgende zeespiegel zal het gravitaire lozingsvenster sneller verkorten. Het verpompen van water vanuit de Kreek over het Springsas naar zee zal dus op termijn noodzakelijk worden.

De maatregel die in deze sectie onderzocht wordt, bouwt verder op de vaststellingen die hierboven gemaakt werden. De noodzaak van een nieuw pompstation zou namelijk gecombineerd kunnen worden met andere maatregelen die inzetten op het verhogen van de afvoer. In de hier onderzochte maatregel wordt voorgesteld om een nieuwe verbinding te creëren tussen de IJzer en de Kreek van Nieuwendamme. Op die manier zou meer water van de IJzer afgevoerd kunnen worden naar zee, in perioden waarin geen gravitaire afvoer van de Kreek van Nieuwendamme mogelijk is. Voor de vier locaties aangeduid in Figuur 31 betekent dit concreet het volgende:

- 1) Iepersas en Iepersluis, uitwatering van de IJzer naar zee. Geen wijzigingen.

- 2) Springsas: uitwatering van de Kreek van Nieuwendamme naar zee. Eveneens geen wijzigingen aan de huidige toestand. Dit houdt in dat er gravitair kan afgevoerd worden via vier identieke schuiven. Daarnaast kan er ook nog afgevoerd worden via twee pompen met een capaciteit van 1.25 m³/s.
- 3) Nieuwe verbinding tussen IJzer en Kreek van Nieuwendamme die gebruikt kan worden om water vanuit de IJzer richting het Springsas te laten stromen. In het model is deze nieuwe verbinding opgenomen als een schuifconstructie. De afvoersectie van deze nieuwe verbinding werd groter gekozen dan de afvoersectie van het Springsas, zodanig dat de nieuwe verbinding niet limiterend is voor de afvoer.
- 4) Sifon onder de Sint-Jorissluis. Deze sifon werd bijkomend uitgerust met terugslagkleppen om te vermijden dat er water van de IJzer terug naar het binnenland kan stromen wanneer de nieuwe verbinding (locatie 3) geopend is. Tevens werd hier een bijkomend nieuw pompstation, met eenzelfde capaciteit als aan het Springsas, voorzien. Op die manier kan het water van de Kreek van Nieuwendamme toch nog afgevoerd worden, wanneer de nieuwe verbinding geopend is.

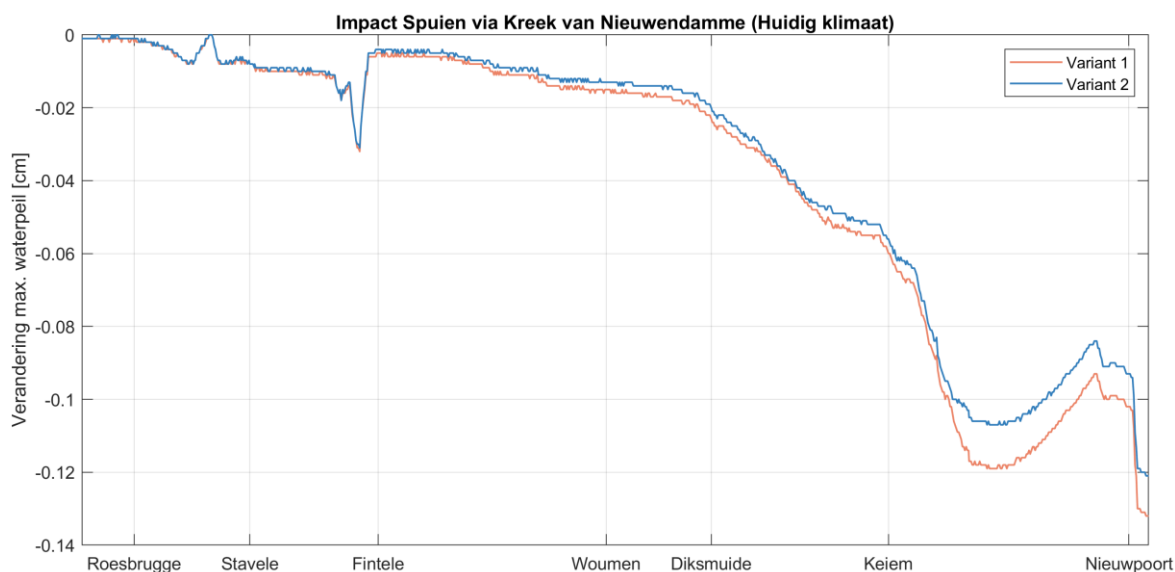


Figuur 31. Uitwatering van de Kreek van Nieuwendamme ter hoogte van de Ganzepoot: Iepersas (1), Springsas (2), bestudeerde nieuwe verbinding (3) en sifon onder de Sint-Jorissluis (4).

Voor het aansturen van de nieuwe verbinding tussen IJzer en Kreek van Nieuwendamme werd een onderscheid gemaakt tussen een normaal regime en een hoogwaterregime. Tijdens het normale regime blijft de nieuwe verbinding gesloten, wat dus overeenkomt met de huidige toestand. Wanneer het waterpeil in Diksmuide een bepaalde drempel overschrijdt, zal overgegaan worden op het hoogwaterregime en kan de nieuwe verbinding geopend worden. Tijdens het uitvoeren van de simulaties in het kader van deze maatregel werden twee mogelijke varianten voor het openen van de nieuwe verbinding beschouwd:

- 1) In de meest eenvoudige variant blijft de schuif steeds geopend tijdens het hele hoogwaterregime. Het waterpeil in de Kreek van Nieuwendamme tussen de sifon en het Springsas is dan nagenoeg gelijk aan het waterpeil op de IJzer. De uitwatering van de Kreek van Nieuwendamme gebeurt in deze variant enkel via het nieuwe pompstation aan de sifon onder de Sint-Jorissluis. Deze variant kan beschouwd worden als een relatief eenvoudige variant die maximaal inzet op het verhogen van de afvoer vanuit de IJzer.
- 2) In de tweede variant wordt getracht om de afvoer van de Kreek van Nieuwendamme nog zoveel mogelijk gravitair te laten verlopen. Dit betekent dat de nieuwe verbinding gesloten wordt wanneer het peil op zee lager is dan het peil opwaarts van de sifon. De Kreek van Nieuwendamme kan dan gravitair afvoeren via de sifon en het Springsas. Wanneer het peil op zee hoger is dan het peil opwaarts van de sifon, maar lager dan het peil in de IJzer zal de nieuwe verbinding geopend worden. Het water van de IJzer kan dan zowel via het Iepersas als het Springsas naar zee afgevoerd worden. Deze variant is iets minder eenvoudig, maar besteedt meer aandacht aan de uitwatering van de Kreek van Nieuwendamme.

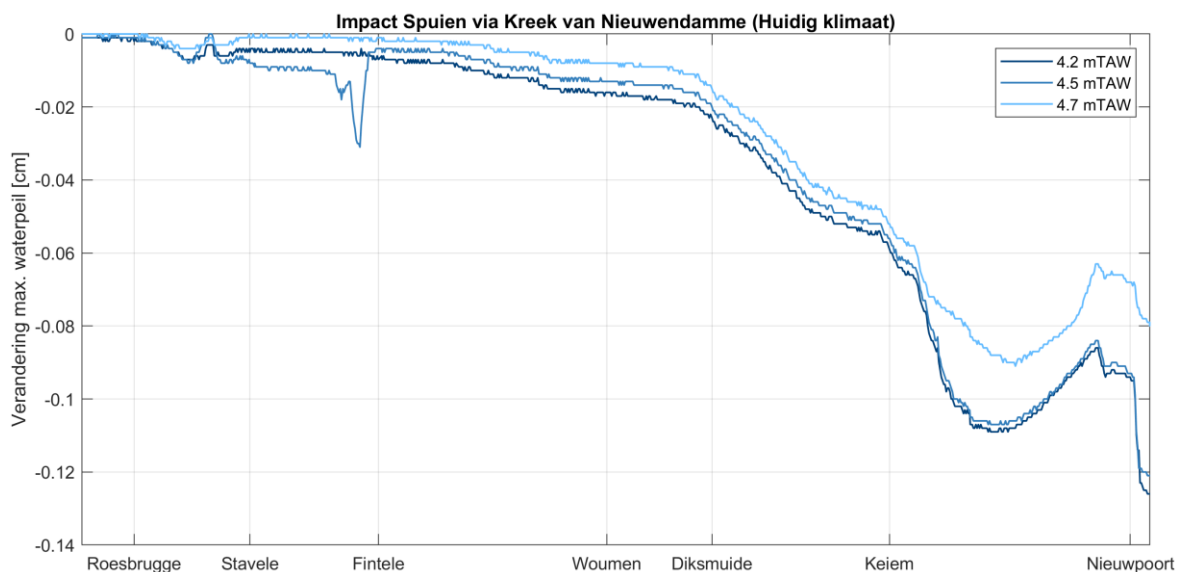
Figuur 32 toont de impact van beide varianten op de maximale waterpeilen in de IJzer tijdens de hoogwaterperiode van november 2023. In beide gevallen werd de nieuwe verbinding ingezet vanaf het moment dat in Diksmuide een waterpeil van 4.5 mTAW bereikt werd. De grafieken geven aan dat **de grootste impact te verwachten is op het afwaartse gedeelte van de IJzer. Naarmate men verder naar opwaarts kijkt, daalt de impact van deze maatregel.** Opwaarts van Diksmuide is de daling van het maximale waterpeil kleiner dan 2 cm. Daarnaast geven de grafieken aan dat de impact van beide varianten van dezelfde grootteorde is. De impact van variant 2 is iets kleiner dan die van variant 1, maar de verschillen tussen beide blijven beperkt. De impact op de Kreek van Nieuwendamme is niet getoond in de figuur, maar wordt hier wel vermeld. In variant 1 zal het maximale waterpeil opwaarts van de sifon stijgen. Deze stijging neemt per getijcyclus toe, naarmate de nieuwe verbinding langer geopend is. In variant 2 blijft de impact op de Kreek van Nieuwendamme beperkt: de maximale waterpeilen zullen niet verder stijgen. Dit maakt dat **variant 2 vermoedelijk interessanter is dan variant 1.**



Figuur 32. Verandering van het maximale waterpeil op de IJzer bij inzet van een nieuwe verbinding tussen IJzer en Kreek van Nieuwendamme. Cijfers zijn van toepassing op simulatie november 2023 (huidig klimaat).

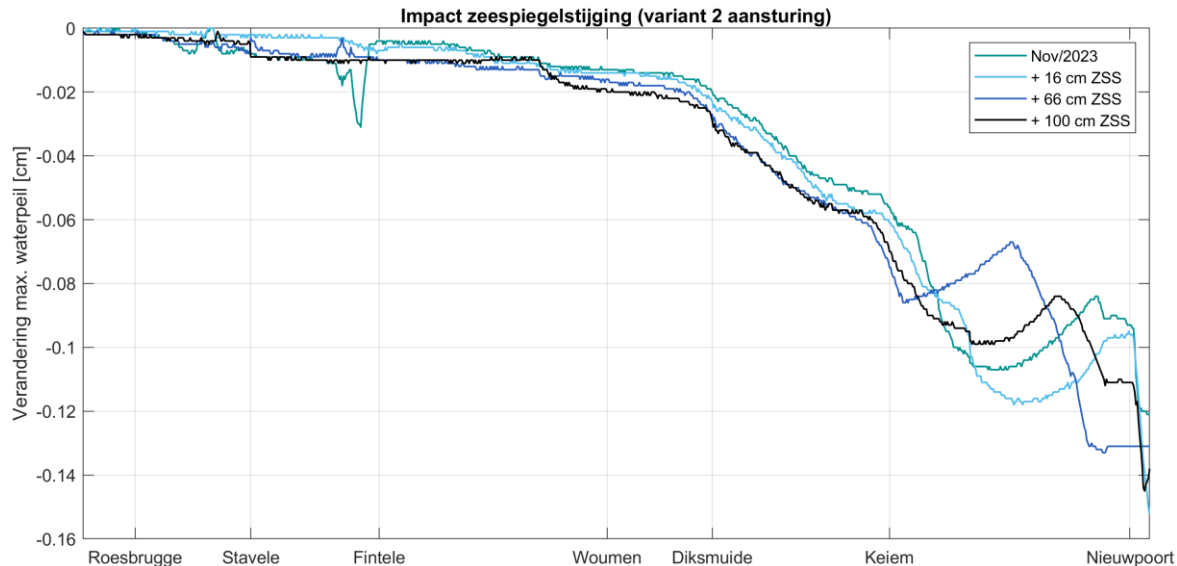
Ondanks de stijging van de afvoercapaciteit aan de Ganzepoot blijft de impact op de IJzer eerder beperkt. Er wordt een daling van de maximale waterpeilen gerealiseerd, maar deze is vooral zichtbaar in het meest afwaartse gedeelte en neemt snel af naar opwaarts. Dit heeft waarschijnlijk opnieuw te maken met de beperkingen op de afvoercapaciteit van de IJzer tussen Diksmuide en Nieuwpoort. Door het beperkte bodemverhang geraakt het water onvoldoende snel van het binnenland naar Nieuwpoort. Daarnaast is het ook zo dat een toename van de afvoercapaciteit tot een sneller daling van het waterpeil op de IJzer in Nieuwpoort leidt. Het waterpeil opwaarts van het Iepersas bereikt daardoor iets sneller het zeepeil waardoor de uitwateringsconstructies ook iets sneller gesloten moeten worden. **Ondanks de toename in afvoercapaciteit zal er hierdoor slechts een beperkte stijging van de afvoer gerealiseerd worden: ca. 1.5 % per getijcyclus.**

In Figuur 33 wordt getoond in welke mate het vroeger of later inzetten van deze maatregel een invloed heeft op de impact van de maatregel. Er werden hiervoor drie verschillende subvarianten van variant 2 vergeleken met elkaar. De varianten verschillen onderling in het drempelpeil dat een onderscheid maakt tussen het normale regime en het hoogwaterregime voor het aansturen van de nieuwe verbinding. **De resultaten geven aan dat een langere inzet, d.i. openen bij een lager drempelpeil, tot een beperkte toename van de impact leidt.** De verschillen tussen de varianten zijn echter vooral zichtbaar in het afwaartse gedeelte van de IJzer. Opwaarts van Keiem blijven de onderlinge verschillen beperkt.



Figuur 33. Verandering van het maximale waterpeil op de IJzer het spuien via de Kreek van Nieuwendamme tijdens de hoogwaterperiode van november 2023. Elke lijn toont de resultaten van een andere variant.

Als laatste wordt in Figuur 34 bekeken of de impact van de maatregel 'spuien via de Kreek van Nieuwendamme' beïnvloed wordt door de zeespiegelstijging. In de uitgevoerde simulaties werd variant 2 voor de aansturing en een drempelpeil van 4.5 mTAW gebruikt. De resultaten liggen in lijn met wat eerder vastgesteld werd: de impact van de maatregel is het grootst in het afwaartse gedeelte van de IJzer en neemt af naar opwaarts. Opvallend is dat **de impact van de maatregel toeneemt bij een stijging van de zeespiegel**: er wordt een grotere daling van de maximale waterpeilen bekomen. Deze toename is, in vergelijking met de totale impact, eerder beperkt.



Figuur 34. Verandering maximale waterpeilen op de IJzer tijdens de hoogwaterperiode november 2023, bij spuien via Kreek van Nieuwendamme en verschillende zeespiegelstijgingen.

4.2.5 Conclusies

In deze eerste bouwsteen werd getracht om de afvoer vanuit de IJzer naar zee te vergroten door het nemen van maatregelen in de directe omgeving van de Ganzepoot in Nieuwpoort. De maatregelen die hierbij aan bod kwamen zijn het plaatsen van bijkomende pompcapaciteit aan de lepersluis, het inzetten van de stormvloedkering en het spuien via de Kreek van Nieuwendamme.

Bij de maatregel met bijkomende pompcapaciteiten werden verschillende groottes van bijkomende capaciteit bestudeerd. De capaciteit werd eerder als permanent dan als mobiel beschouwd. Dat wil zeggen dat de pompen in werking treden vanaf het moment waarop in Diksmuide een bepaalde drempel overschreden wordt. Uit de resultaten blijkt dat een toename van de pompcapaciteit leidt tot een daling van de maximale waterpeilen op de IJzer. Deze daling is het grootst in de directe omgeving van de pompen en daalt naarmate men verder naar opwaarts gaat. Ter hoogte van Diksmuide is de impact al heel sterk gedaald. Dit bleek het geval voor alle bestudeerde pompcapaciteiten. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat bijkomende pompcapaciteit slechts een beperkte meerwaarde zal bieden om het overstromingsrisico te doen dalen. De grootste risico's bevinden zich immers verder opwaarts dan de invloedszone van de pompen.

Het inzetten van de stormvloedkering in Nieuwpoort creëert een buffer tussen de Ganzepoot en de stormvloedkering, waardoor er langer gravitair geloosd kan worden vanuit de IJzer. Deze maatregel heeft een gelijkaardig effect als bijkomende pompcapaciteit: een daling van de waterpeilen, maar dan voornamelijk in het afwaartse gedeelte van de IJzer. Om een wezenlijke impact te bekomen zullen meerdere achtereenvolgende sluitingen van de kering noodzakelijk zijn. Het effect op de waterstanden van één individuele sluiting is zeer klein. De kerende constructie is echter ontworpen op een maximaal aantal sluitingen onder belastende condities. Dit maakt dat de levensduur mogelijks ingekort wordt wanneer ze ingezet wordt zoals hier verondersteld. Bijkomend onderzoek hieromtrent is nog nodig. Op basis van deze punten wordt geconcludeerd dat het inzetten van de stormvloedkering een nuttige maatregel is indien de kostprijs aanvaardbaar is. De impact mag echter niet overschat worden. Daarom lijkt het aangewezen om ze enkel in zeer kritieke omstandigheden in te zetten, wanneer elke daling van het waterpeil van belang is.

Bij het spuien via de Kreek van Nieuwendamme worden er tussen de sifon onder de Sint-Jorissluis en het Springsas bijkomende hydraulische structuren voorzien die het mogelijk maken om water van de IJzer af te voeren via de Kreek van Nieuwendamme. Dit omvat een nieuwe verbinding tussen de IJzer en de Kreek van Nieuwendamme, terugslagkleppen op de sifon onder de Sint-Jorissluis en bijkomende pompcapaciteit op deze locatie. De meest interessante aanpak is vermoedelijk om de nieuwe verbinding enkel te openen wanneer er geen gravitaire afvoer vanuit de Kreek van Nieuwendamme mogelijk is. Op die manier is de impact op de Kreek van Nieuwendamme zo klein mogelijk. De impact op de IJzer is vooral zichtbaar in het afwaartse gedeelte. Naarmate men verder naar opwaarts gaat, daalt de impact sterk.

Voor alle drie de maatregelen beschouwd onder deze bouwsteen geldt dat ze een gelijkaardige impact hebben. De toename van de afvoercapaciteit leidt vooral tot een daling van de waterpeilen in het afwaartse gedeelte. Omwille van beperkingen op de aanvoer vanuit het binnenland zet deze daling zicht niet door naar opwaarts. Daarnaast geldt ook dat de impact van de maatregelen niet nadelig beïnvloed wordt door een stijging van de zeespiegel. Bijgevolg kan gesteld worden dat er een zekere mate van inwisselbaarheid bestaat tussen de verschillende maatregelen. Dit betekent dat een gelijkaardig effect kan bekomen worden met elk van de beschouwde maatregelen.

4.3 Bouwsteen 2: Afvoercapaciteit IJzer vergroten

Bij het analyseren van de historische hoogwaterperiodes van december 1993 en november 2023 werd opgemerkt dat de afvoercapaciteit van de benedenloop van de IJzer kleiner is dan de volumes die aangevoerd worden vanuit Frankrijk en de zijlopen. Dit is onder andere het gevolg van het zeer vlakke landschap en het daarbij horende kleine bodemverhang. Ondanks de grote afvoercapaciteit aan de Ganzepoot kan het water onvoldoende snel naar Nieuwpoort stromen en zal de IJzer buiten zijn oevers treden ter hoogte van de zones waar ze niet ingedijkt werd. Bij zeer grote volumes en/of een verdere daling van de afvoercapaciteit (bijvoorbeeld ten gevolge van zeespiegelstijging) kan dit tot problematische overstromingen leiden. In deze tweede bouwsteen werden daarom enkele maatregelen bekeken die kunnen leiden tot een toename van de afvoercapaciteit van de IJzer, met name:

- 1) Een verbreding van de IJzer afwaarts van Diksmuide (§ 4.3.1)
- 2) De inrichting van de IJzer afwaarts van Diksmuide als perskanaal (§ 4.3.2)

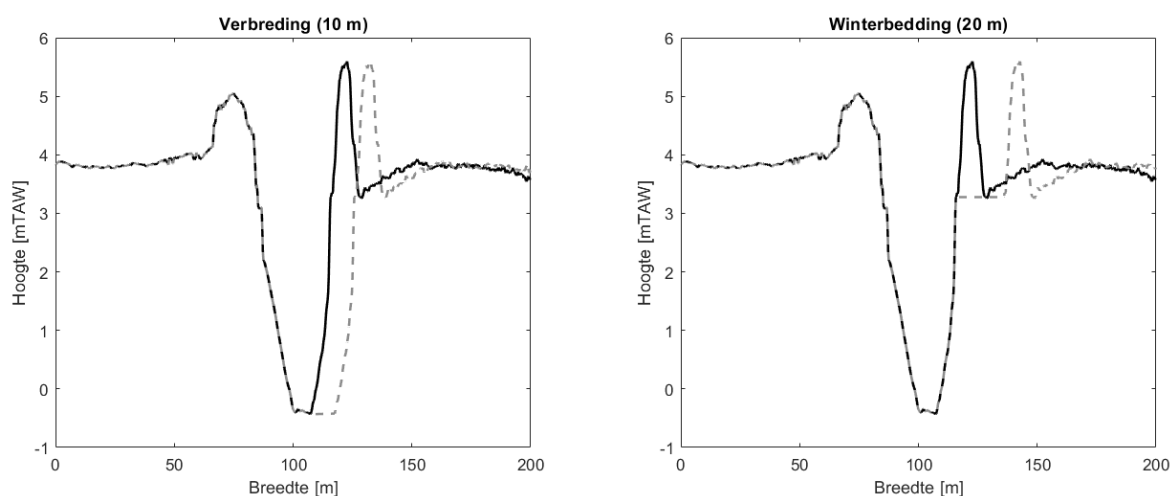
4.3.1 Verbreding IJzer afwaarts Diksmuide

Bij de maatregel 'Verbreding IJzer' werd verondersteld dat de IJzer over quasi de volledige lengte afwaarts van Diksmuide verbreed kan worden. Meer concreet betekent dit dat de veronderstelde verbreding toegepast wordt over een afstand van ongeveer 14 km: van net afwaarts van de samenvloeiing van IJzer en Handzamevaart tot net opwaarts van de brug van de E40 over de IJzer. Afwaarts van deze brug is de IJzer al aanzienlijk breder en heeft een verdere verbreding vermoedelijk weinig invloed op wat er verder opwaarts gebeurt.

In een eerste verkennende analyse werden binnen deze maatregel twee varianten beschouwd:

- Een volledige verbreding van de IJzer. Hierbij werd vertrokken van de bestaande dwarssecties in het model en werd de rechteroever volledig naar rechts verschoven vanaf het laagste punt van de dwarssectie (zie linkse grafiek in Figuur 35). De keuze voor het verbreden van de rechteroever is gemaakt vanwege het gebruiksgemak in het hydraulische model. Er worden hier geen verdere uitspraken gedaan over de mogelijke realisatie van de verbreding. Dit dient in een eventuele technische haalbaarheidsstudie behandeld te worden.
- Een uitbreiding van de winterbedding op rechteroever. Hierbij werd opnieuw vertrokken van de bestaande dwarssecties in het model en werd de dijk op rechteroever verder naar rechts verplaatst. Daarbij werd tussen de verplaatste dijk en de oorspronkelijke dwarssectie een afgraving tot op niveau van het normaal peil van de IJzer (ca 3.14 mTAW) voorzien. De vrijgekomen ruimte kan bijgevolg als winterbed beschouwd worden (zie rechtse grafiek in Figuur 35).

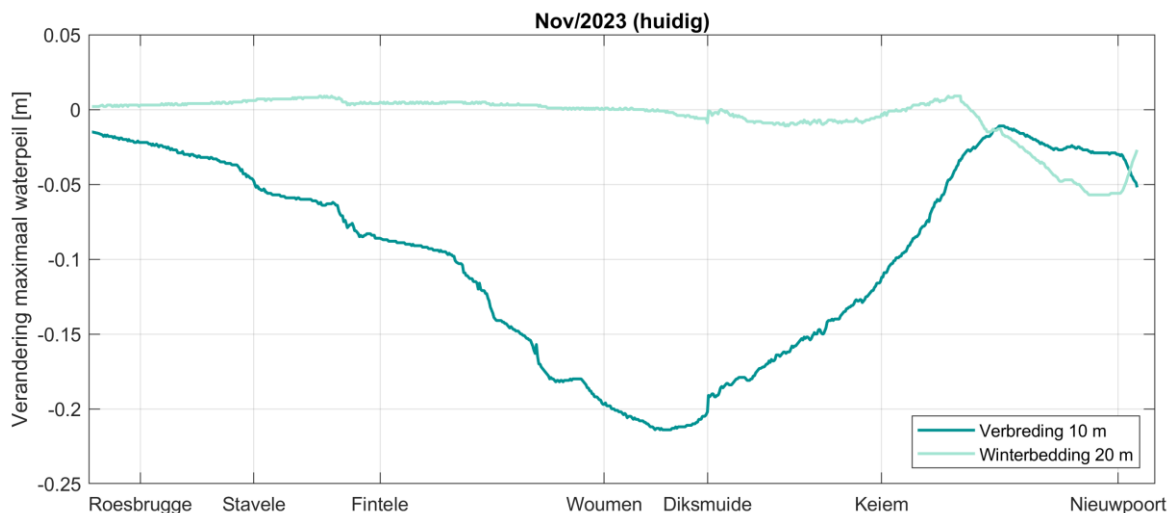
Merk op dat de verbreding in beide varianten eerder een conceptuele dan een gedetailleerde realistische verbreding is. Dit lijkt echter niet problematisch te zijn, omdat het hier gaat om een verkennende analyse die beoogt om de ordegrootte van impact in te schatten.



Figuur 35. Mogelijke interpretaties van verbreding IJzer: volledige verbreding vanaf laagste punt (links) en uitbreiding winterbed rechteroever, incl. verplaatsen dijk (rechts).

De resultaten van de eerste verkennende analyse m.b.t. het type verbreding zijn samengevat in Figuur 36. Hierbij werden de twee mogelijke types verbreding toegepast op de simulatie van de hoogwaterperiode november 2023. Hierin is de verandering van het maximale waterpeil ten opzichte van de nacalculatie getoond. Een volledige verbreding van 10 m leidt tot een aanzienlijke daling van de maximale waterpeilen. Deze daling is het grootst tussen Woumen en Diksmuide en daalt zowel naar opwaarts als naar afwaarts. Opvallend is dat de variant met uitbreiding van de winterbedding tot slechts een beperkte daling van de maximale peilen leidt. Vermoedelijk is dit het gevolg van het sterk variabele karakter van het waterpeil afwaarts van Diksmuide: door de getijdenwerking zal het waterpeil in de IJzer frequent stijgen en dalen. Per getijdencyclus zal het waterpeil een aanzienlijke periode onder de drempel van de winterbedding liggen en kan deze extra ruimte niet bijdragen aan een verhoogde afvoer. In die periode zijn de afvoercondities met

andere woorden gelijkaardig aan de huidige toestand. Bij een verbreding over volledige diepte speelt dit minder mee: de toegenomen afvoercapaciteit is steeds beschikbaar. **Omwille van de beperkte impact van de variant met uitbreiding van de winterbedding werd deze niet verder beschouwd.**



Figuur 36. Resultaten verkennende analyse verbreding IJzer, toegepast op hoogwaterperiode november 2023: verandering maximaal waterpeil t.o.v. huidige toestand.

Na de eerste verkennende analyse werd verder gewerkt met de variant verbreding op volledige diepte. Voor de scenario's die leiden tot een overstrooming van de winterdijk aan de Blankaart werd een inschatting gemaakt van de benodigde verbreding om een overstrooming te vermijden. Deze berekening werd iteratief aangepakt. Dit houdt in dat voor de scenario's in kwestie verschillende simulaties werden uitgevoerd met een steeds grotere verbreding, in stappen van 2 m. Wanneer ter hoogte van de winterdijk een maximaal peil net lager dan de overstroomingsdrempel (5 mTAW) werd bekomen, werden de iteraties gestopt. De daarbij bekomen verbreding werd dan beschouwd als de benodigde verbreding om overstrooming van de winterdijk in dat scenario te voorkomen.

De resultaten van deze iteratieve berekening zijn samengevat in Tabel 7. Hierin is voor de vier beschouwde scenario's de benodigde verbreding terug te vinden. Tevens is het maximaal gesimuleerde waterpeil ter hoogte van de winterdijk opgenomen. **De berekeningen wijzen op een benodigde verbreding van 6 à 8 meter. Ter vergelijking: de huidige breedte van de IJzer afwaarts van Diksmuide schommelt rond de 30 meter. Dit zou dus neerkomen op een verbreding in de ordegrootte van 25% ten opzichte van de huidige dwarssecties.** Merk op dat het maximale waterpeil na toepassing van de verbreding effectief net onder de geselecteerde drempel liggen. Rekening houdende met modelonzekerheden lijkt het dus aangeraden om een bijkomende marge te voorzien op de benodigde verbreding, of bijkomend in te zetten op andere maatregelen.

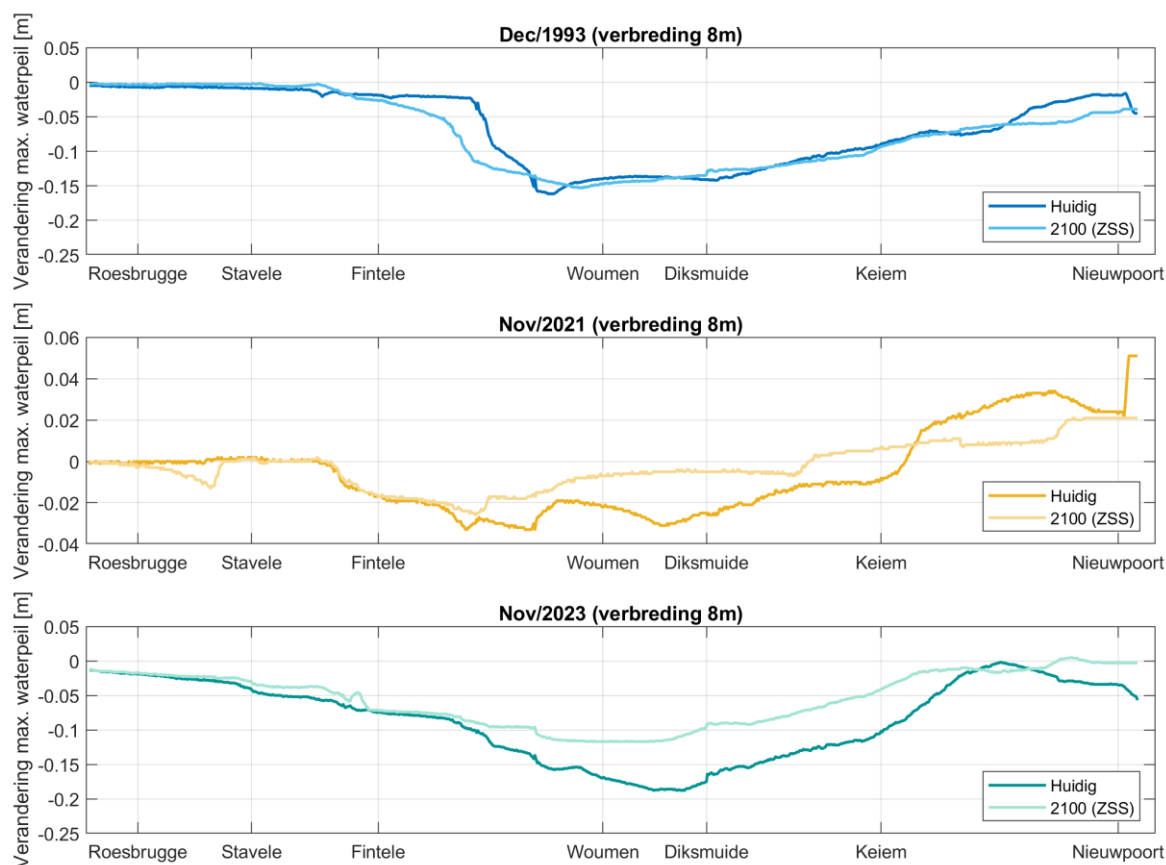
Tabel 7. Resultaten iteratieve berekening benodigde verbreding IJzer (afwaarts Diksmuide).

Scenario	Benodigde verbreding [m]	Maximaal waterpeil winterdijk [mTAW]
Dec/'93 (2100, hCC + ZSS)	8	4.99
Nov/'23 (2050, ZSS)	2	4.98
Nov/'23 (2050, hCC + ZSS)	6	4.99
Nov/'23 (2100, ZSS)	8	4.97

Figuur 37 geeft een inschatting van de effectiviteit van de maatregel 'verbreding IJzer' in functie van de stijgende zeespiegel. Voor de hoogwaterperiodes van december 1993, november 2021 en november 2023 werd een verbreding van 8 m doorgerekend in het huidige klimaat en in een scenario met zeespiegelstijging voor 2100. Er lijkt geen eenduidig effect te zijn. **In geval van december 1993 heeft de zeespiegelstijging geen negatieve impact op de resultaten.** Voor een groot gedeelte van de IJzer wordt overal een even grote daling van de maximale waterpeilen bekomen. Tussen Fintele en Woumen wordt zelfs een sterkere daling van het

maximale waterpeil voorspeld. In geval van november 2021 en november 2023 wordt een negatieve impact gesimuleerd. De daling van de maximale waterpeilen is kleiner na toepassing van de zeespiegelstijging. Het is niet volledig duidelijk waaraan dit te wijten is.

Wat eveneens opvalt is dat de daling van de maximale waterpeilen kleiner is voor de hoogwaterperiode van november 2021 dan voor de beide andere periodes. Vermoedelijk is dit het gevolg van het verschillende karakter van de beschouwde gebeurtenissen. In november 2021 werd vooral de bovenloop getroffen en was er op de benedenloop eerder sprake van een gemiddeld event. Concluderend kan waarschijnlijk gesteld worden dat een verbreding effectiever is, naarmate het totaal aangevoerde volume groter is.

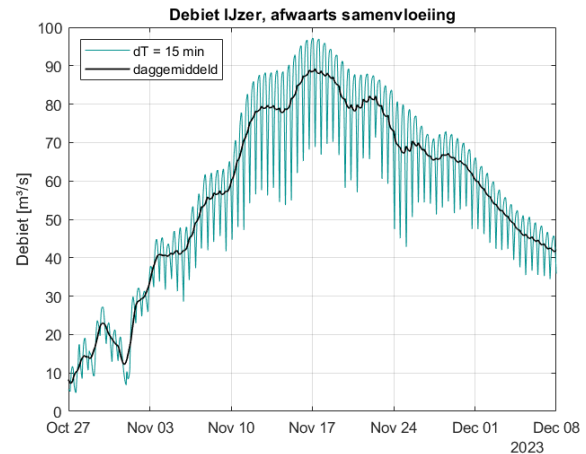


Figuur 37. Verandering maximale waterpeilen op de IJzer tijdens de hoogwaterperiodes dec/1993 (boven), nov/2021 (midden) en nov/2023 (onder), bij verbreding IJzer en verschillende zeespiegelstijgingen.

4.3.2 Inrichting IJzer als perskanaal

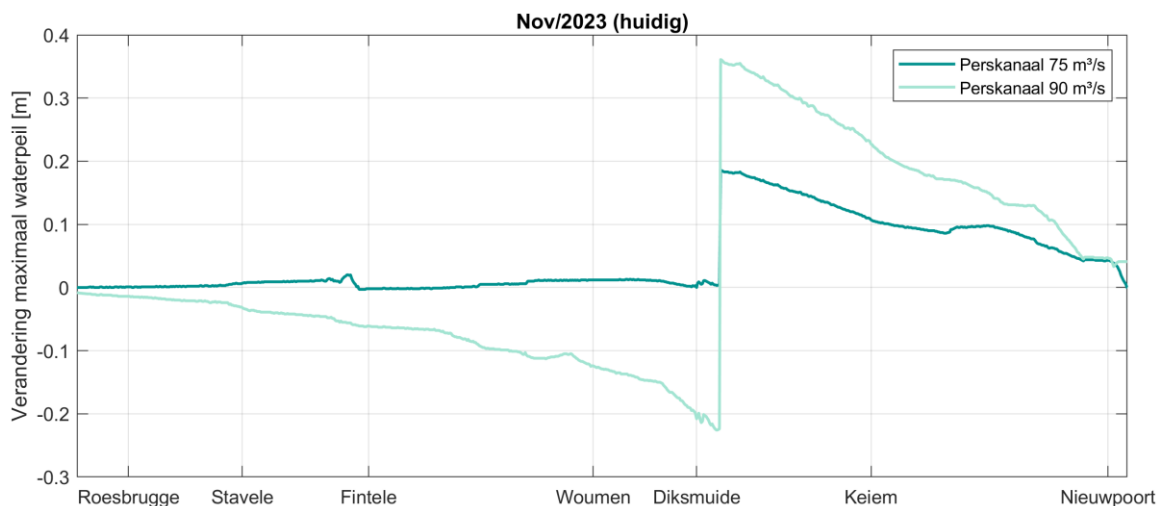
Een tweede onderzochte maatregel om de afvoercapaciteit van de IJzer afwaarts van Diksmuide te vergroten is de inrichting als perskanaal. Deze maatregel is conceptueel gelijkaardig aan de constructie aan het Veurne-Ambacht gemaal, welke instaat voor de ontwatering van de Westkustpolder naar zee. Het perskanaal aan het Veurne-Ambacht gemaal heeft een lengte van ongeveer 800 m. Aan zeezijde (t.h.v. de Ganzepoot) is de constructie voorzien van acht schuiven waarlangs water gravitair naar zee kan stromen. Aan landzijde is een combinatie van pompen en kokers met terugslagkleppen gebouwd. Wanneer het waterpeil op zee voldoende laag is, kan het water vanuit het binnenland via de kokers en de acht schuiven naar zee stromen. Wanneer het peil op zee stijgt, zullen de terugslagkleppen op de kokers sluiten en zullen de pompen in werking treden. Het peil in het perskanaal zal vervolgens stijgen, zodat er langer gravitair geloosd kan worden aan de uitwateringsconstructie. In deze sectie van het rapport wordt een gelijkaardig concept voor de IJzer besproken.

De inrichting van de IJzer als perskanaal vergt een aantal structurele maatregelen. Het moet namelijk mogelijk zijn om in het perskanaal een hoger peil te realiseren ten opzichte van de huidige toestand en ten opzichte van het waterpeil verder opwaarts. De vermoedelijk meest aangewezen manier om dit te realiseren is de bouw van een keersluis, zoals bijvoorbeeld in Beernem op het Kanaal Gent-Oostende (zie Figuur 38, links). **Naast deze keersluis dient een pompstation te komen dat water voorbij de keersluis pompt wanneer deze gesloten is. De capaciteit van dit nieuwe pompstation moet minstens gelijk zijn aan de gravitaire afvoercapaciteit van de IJzer in huidige toestand.** Deze maatregel beoogt immers een toename van de afvoer. Het rechtse deel van Figuur 38 toont de gesimuleerde debieten ten tijde van november 2023, net afwaarts van samenvloeiing van IJzer en Handzamevaart. **Opdat deze strategie in dit scenario een impact zou kunnen hebben, zou dit betekenen dat een capaciteit van minimum 80 à 90 m³/s nodig is.**



Figuur 38. Keersluis Beernem (links) en debiet in IJzer net afwaarts van samenvloeiing met Handzamevaart, ten tijde van november 2023 (rechts).

Op basis van voorgaande redenering werden in het hydraulische model enkele simulaties opgestart. Hierin werd de IJzer ingericht als perskanaal door het plaatsen van een keersluis afwaarts van de samenvloeiing van IJzer en Handzamevaart, waarnaast een pompstation geplaatst werd. Twee varianten werden hierbij beschouwd, waarin het pompstation een capaciteit kreeg van respectievelijk 75 en 90 m³/s. De grafieken in Figuur 39 tonen de impact van beide varianten op het maximaal waterpeil. In geval van een perskanaal met pompstation van 75 m³/s is de impact vooral zichtbaar afwaarts van het pompstation. De maximale waterpeilen kunnen daar tot 20 cm toenemen, terwijl er aan opwaartse zijde nauwelijks verschil is. **Dit betekent dat bij een inrichting van de IJzer als perskanaal minimaal een pompstation van 75 m³/s nodig is om de status quo te behouden. Wanneer het pompstation ingericht wordt met een capaciteit van 90 m³/s is aan opwaartse zijde wel een duidelijke impact te zien.** Ter hoogte van Diksmuide kunnen de maximale peilen tot 20 cm dalen. Hier staat tegenover dat de peilen aan afwaartse zijde sterk kunnen toenemen met stijgingen tot 35 cm. Mogelijks vraagt dit een verhoging van de dijken afwaarts van Diksmuide.



Figuur 39. Verandering maximale waterpeilen op de IJzer, ten tijde van november 2023, bij inrichting van het afwaarts gedeelte als perskanaal.

De hoge benodigde pompcapaciteit om bij deze maatregel een aanzienlijk impact te bekomen wordt vermoedelijk verklaard door de afstand tussen de veronderstelde locatie van de keersluis wordt en de uitwatering naar zee. Het water heeft tijd nodig om deze afstand af te leggen, waardoor de situatie aan beide zijden van het perskanaal sterk kan verschillen. Op het moment waarop de afvoer in Nieuwpoort afgesloten wordt, is er niet direct een daling van het debiet zichtbaar aan de keersluis. Dit in tegenstelling tot het perskanaal aan het Veurne-Ambacht gemaal, waar beide uiteinden veel korter bij elkaar liggen.

Van alle bestudeerde maatregelen en varianten in dit rapport leidt de inrichting van de IJzer als perskanaal, met een pompstation van 90 m³/s, tot de grootste daling van het maximale waterpeil ter hoogte van Diksmuide. Een belangrijke opmerking hierbij is dat het een technisch complex en potentieel duur hydraulisch kunstwerk vereist, welke slechts in uitzonderlijke condities zal ingezet worden. Bovendien kan ook verwacht worden dat een negatievere situatie bekomen wordt bij het niet volledig functioneren van het kunstwerk (bv. pompcapaciteit niet volledig beschikbaar). **Omwille van de technische complexiteit van deze maatregel werd er in dit rapport geen verder onderzoek uitgevoerd naar de impact bij andere scenario's of klimaatverandering.**

4.3.3 Conclusies

In deze tweede bouwsteen werd gezocht naar maatregelen die de afvoercapaciteit van de benedenloop van de IJzer vergroten. Hierbij werd gekeken naar het verbreden van de IJzer afwaarts van Diksmuide en de omvorming van dit gedeelte tot een perskanaal, naar analogie met het Veurne-Ambacht gemaal.

In eerste instantie werd een verkennende analyse naar de mogelijke verbredingen uitgevoerd. Uit deze eerste analyse blijkt dat een verbreding van de volledige dwarssectie noodzakelijk is om een wezenlijk effect te bekomen. Er werd ook een verbreding van de winterbedding zonder aanpassing aan de eigenlijke dwarssectie van de IJzer onder het normaalpeil bestudeerd, maar dit bleek slechts een beperkte impact op de afvoercondities te hebben.

De impact van een volledige verbreding van de IJzer is het grootst in de omgeving van de Blankaart, waar dalingen tot 15 cm bekomen kunnen worden. De impact neemt t.o.v. de Blankaart af naar opwaarts en naar afwaarts. Op basis van simulaties rekening houdende met klimaatverandering zou een verbreding van 6 à 8 m nodig zijn om tegen eind deze eeuw een overstroming van de winterdijk aan de Blankaart te voorkomen. Rekening houdende met een verbreding over een lengte van ca. 14 km komt dit overeen met een landinname van ongeveer 12 ha (exclusief bedijking).

De inrichting van de IJzer afwaarts van Diksmuide als perskanaal vereist aanzienlijke ingrepen in het systeem. Om dit mogelijk te maken zijn immers een keersluis, zoals in Beernem, en zeer grote pompcapaciteiten van ordegrootte 80 m³/s nodig. Dit lijkt moeilijk realiseerbaar waardoor besloten werd om deze maatregel niet verder in detail uit te werken.

4.4 Bouwsteen 3: Afvoercapaciteit Lokanaal vergroten

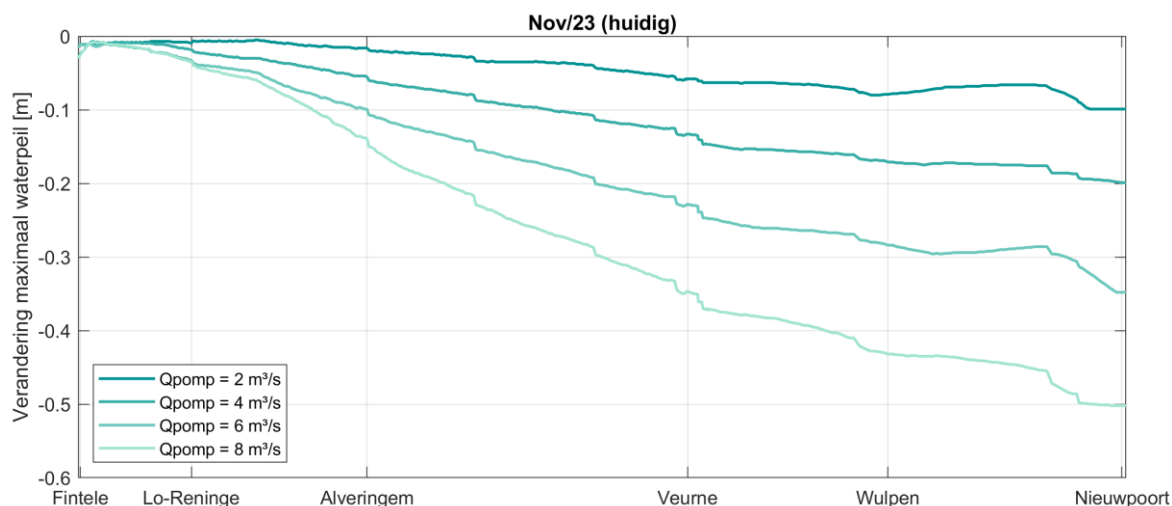
In de vorige twee bouwstenen werden maatregelen onderzocht die de afvoercapaciteit van de IJzer konden vergroten. In deze derde bouwsteen worden ook maatregelen onderzocht die de afvoer vergroten, maar in dit geval op het Lokanaal. Het Lokanaal vormt een belangrijke bypass vanaf de bovenloop van de IJzer via Veurne naar zee en kan ingezet worden om de IJzer deels te ontlasten. Het is een belangrijke manier om water vanuit het binnenland naar zee te sturen. In deze bouwsteen komen de volgende maatregelen aan bod:

- Het plaatsen van bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis en Veurnestuw in Nieuwpoort (§ 4.4.1).
- Het verhogen van het maximaal toelaatbaar peil op het Lokanaal in Fintele (§ 4.4.2)
- Het herstellen van het theoretische profiel van het Lokanaal door de in 2024 en 2025 uitgevoerde onderhoudsbaggerwerken (§ 4.4.3)

4.4.1 Bijkomende pompcapaciteit Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort

In een eerste analyse werd opnieuw gekeken naar bijkomende pompcapaciteit, gelijkaardig aan de analyse in sectie 4.2.2. De bijkomende pompcapaciteit werd nu aan de Veurnesluis geplaatst en met een kleinere omvang. Vier nieuwe simulaties werden uitgevoerd, met een bijkomende pompcapaciteit van 2, 4, 6 en 8 m³/s. Hierbij werd opnieuw verondersteld dat het eerder om permanente dan om tijdelijke pompinstallaties gaat. De pompen worden ingeschakeld wanneer er geen gravitaire afvoer mogelijk is aan de Veurnesluis en vanaf het moment dat het waterpeil op het Lokanaal in Fintele hoger ligt dan 3.2 mTAW. Dit komt overeen met het moment waarop de schuiven in Fintele volledig geopend worden. Verder blijven dezelfde veronderstellingen als in § 4.2.2 geldig.

Figuur 40 toont lengteprofielen van de verandering van het maximale waterpeil in het Lokanaal en Kanaal Duinkerke Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort) voor toenemende pompcapaciteiten aan de Ganzepoot (Veurnesluis). De grafieken werden berekend op basis van de hoogwaterperiode van november 2023. Telkens wordt vergeleken met de situatie waarin er geen pompen aanwezig zijn. Dit is dus licht verschillend van de nacalculatie. **De resultaten geven aan dat de impact van bijkomende pompcapaciteit het grootst is in de directe omgeving van de pompen en afneemt naarmate men verder naar opwaarts gaat.** Dit sluit aan bij de analyses m.b.t. bijkomende pompcapaciteit op de IJzer. Opvallend hier is dat een toename van de pompcapaciteit al relatief snel tot een aanzienlijke daling van het maximale waterpeil kan leiden. Per bijkomende pompcapaciteit van 2 m³/s kan in Veurne een reductie van gemiddeld 7 cm bekomen worden. Opnieuw kan gesteld worden dat de impact bij benadering lineair evenredig is met de pompcapaciteit.



Figuur 40. Verandering maximale waterpeilen op Lokanaal en Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort, ten tijde van november 2023, in functie van bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis in Nieuwpoort.

Ter hoogte van Fintele is de bijkomende daling van het waterpeil op het Lokanaal bij een toename van de pompcapaciteit quasi gelijk aan nul. Dit heeft te maken met de aansturing van de schuiven in Fintele die bepalen hoeveel water er van de IJzer naar het Lokanaal stroomt. Het aansturen van deze schuiven gebeurt in het model in functie van het waterpeil op het Lokanaal in Fintele. Dit mag niet hoger zijn dan bepaalde drempelwaarden. Het is dus geen verrassing dat er hier weinig verschil te zien is. De bijkomende pompcapaciteit in Nieuwpoort zorgt echter wel voor een toename van het afgevoerde volume via het Lokanaal, ondanks dat de waterpeilen in Fintele amper wijzigen. Deze toename van de afvoer is beschreven in Tabel 8. De cijfers in deze tabel tonen het afgevoerde volume en het bijhorende gemiddelde debiet in Fintele, in de periode dat de pompen aan de Ganzepoot actief zijn. **Uit de cijfers valt af te leiden dat een bijkomende pompcapaciteit zorgt voor een toename van de afvoer langs het Lokanaal. De toename van het gemiddelde debiet is echter duidelijk kleiner dan de toename van de pompcapaciteit.** Dit heeft waarschijnlijk te maken met het beperkte verhang van het Lokanaal, waardoor de impact van de pompcapaciteit zich niet volledig doorzet naar opwaarts. De belangrijkste factor is echter de dwarssectie van het Lokanaal, in combinatie met het maximaal toelaatbare peil. Een sterke toename van het debiet binnen eenzelfde dwarssectie en een maximaal peil zal nl. niet mogelijk zijn.

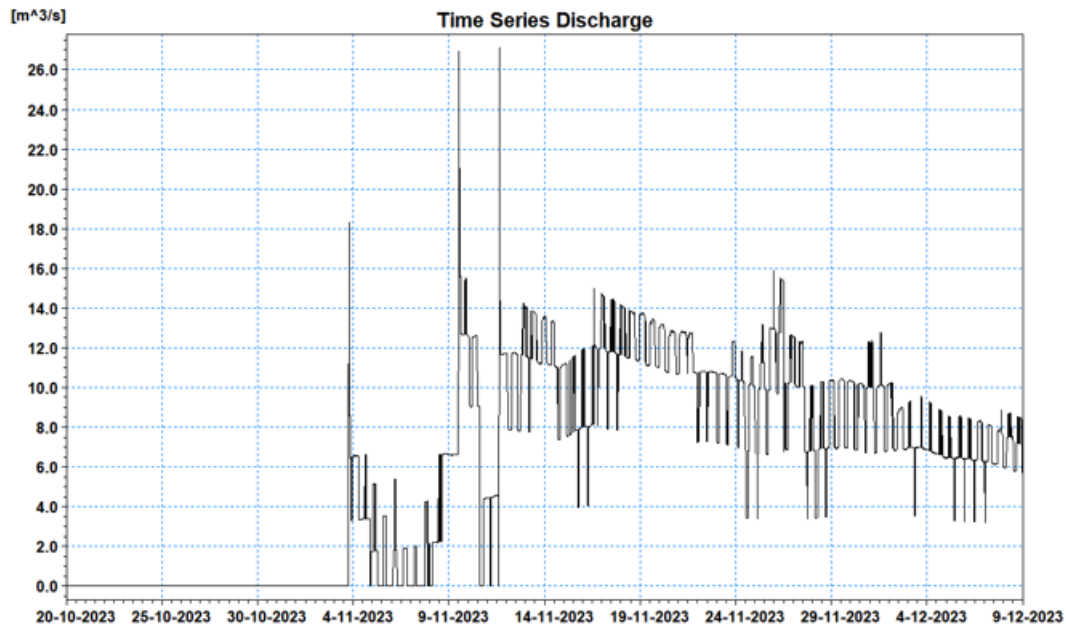
Tabel 8. Toename afvoer door schuiven in Fintele, in functie van de pompcapaciteit aan de Veurnesluis in Nieuwpoort.

Pompcapaciteit Veurnesluis [m³/s]	Afgevoerd volume Lokanaal Fintele [Mm³]	Toename afgevoerd volume	Gemiddeld debiet schuiven Fintele [m³/s]
0	19.82	0	9.9
2	20.83	+ 5 %	10.4
4	21.17	+ 7 %	10.5
6	21.77	+ 10 %	10.8
8	22.64	+ 14 %	11.3
10	22.75	+ 15 %	11.3

De gemiddelde debieten door de schuiven in Fintele in Tabel 8 liggen lager dan de debieten die gemeten werden ter hoogte van het meetpunt in Lo-Reninge (lok02a-1066) ten tijde van november 2023. Bij het vergelijken van beide cijfers wordt best rekening gehouden met de volgende twee aandachtspunten:

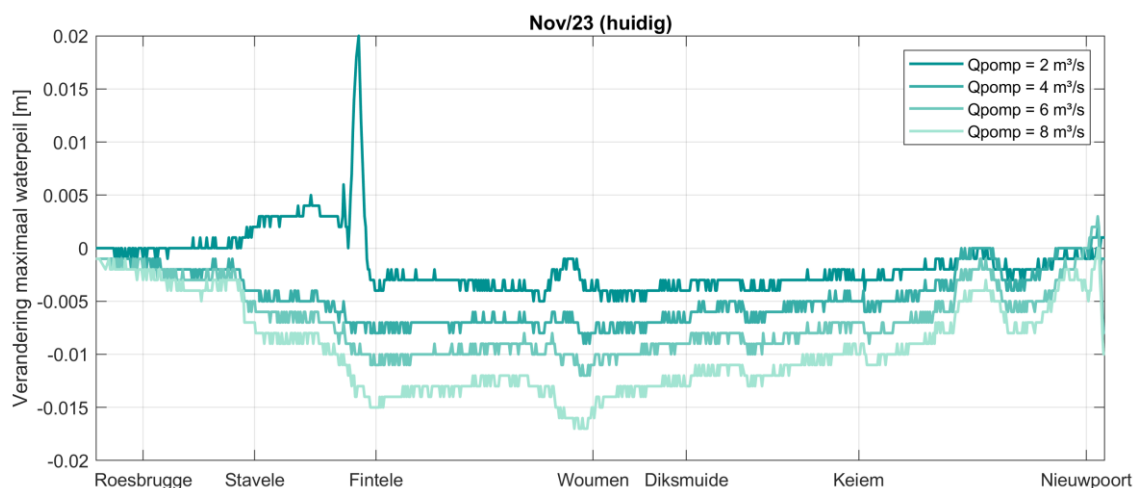
- 1) De cijfers in de tabel gaan over het debiet dat door de schuiven gaat, vanuit de IJzer naar het Lokanaal. Het meetpunt in Lo-Reninge meet het debiet ca 2.5 km stroomafwaarts. Daarin zit ook nog het debiet van de pompstations die vanuit de Westkustpolder naar het Lokanaal verpompen, bijvoorbeeld pompstation Fintele en de mobiele pomp aan de Machuitbeek. Dit maakt dat het debiet door de schuiven meestal kleiner is dan het debiet t.h.v. het meetpunt.

- 2) Het cijfer in Tabel 10 is een gemiddelde over een langere periode, en niet het maximale debiet. Tijdens de hoogwaterperiode van nov/23 is er gedurende een bepaalde periode geloosd via het Lokanaal. Dit was echter niet altijd aan volle capaciteit. Er zijn ook een aantal dagen waarin het debiet door de schuiven sterk gereduceerd werd om water te kunnen afvoeren vanuit pand Veurne-Duinkerke. De grafiek hieronder toont het berekende debiet door de schuiven in de simulatie van de nacalculatie. Daarin is die terugval omstreeks 11 november duidelijk te zien. Het gemiddelde wordt hierdoor ook naar beneden gehaald.



Figuur 41. Gesimuleerde debiet door de schuiven in Fintele, tijdens de hoogwaterperiode november 2023.

De impact van de bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis op de maximale waterpeilen op de IJzer is getoond in Figuur 42. Voor de vier verschillende varianten is de verandering van het maximale waterpeil weergegeven. Telkens gaat het om een beperkte daling van de maximale peilen. De positieve piek net opwaarts van Fintele bij de variant met 2 m³/s pompcapaciteit is vermoedelijk het gevolg van een numerieke instabiliteit. **De daling van de maximale waterpeilen als gevolg van de bijkomende pompcapaciteit is het grootst ter hoogte van Fintele en daalt naar opwaarts en in beperkte mate naar afwaarts. De daling van het maximale peil blijft echter beperkt.** Zoals eerder aangegeven kan dit verklaard worden door het maximaal toelaatbare peil in het Lokanaal en de sturing van de schuiven in Fintele die hierop afgestemd is, waardoor de afvoer langs het Lokanaal niet sterk stijgt.

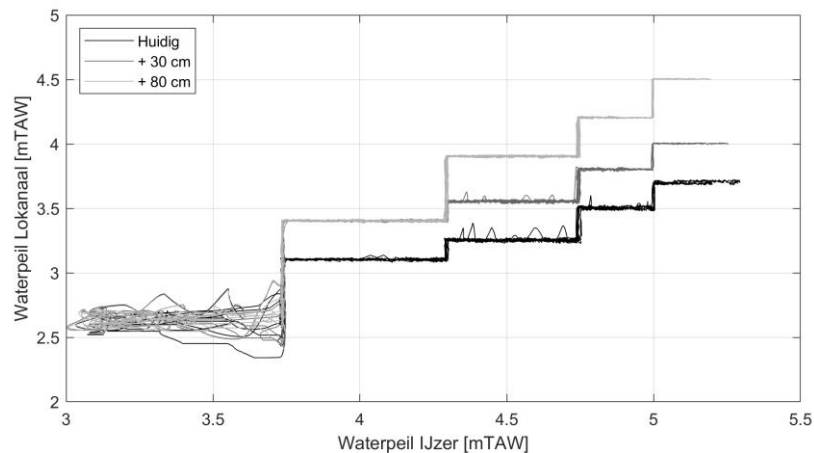


Figuur 42. Verandering maximale waterpeilen op de IJzer, ten tijde van november 2023, in functie van bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis in Nieuwpoort.

4.4.2 Verhoging maximaal peil Lokanaal

In de voorgaande sectie werd onderzocht of het plaatsen van pompen aan de Veurnesluis kan leiden tot een toename van de afvoer via het Lokanaal. Dit bleek het geval te zijn, maar slechts tot een beperkt niveau. Het maximale waterpeil op het Lokanaal in Fintele is namelijk limiterend voor de hoeveelheid water die vanuit de IJzer naar het Lokanaal kan stromen. Indien het maximale peil niet toeneemt, kan slechts een beperkte stijging van het afgevoerde volume bekomen worden. Daarom werd bij deze maatregel onderzocht wat de meerwaarde zou zijn indien een hoger maximaal peil toegelaten zou worden op het Lokanaal en het pand Veurne-Nieuwpoort van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort.

Voor de analyse werd in het model vertrokken van drie verschillende varianten voor de inzet van het Lokanaal. Binnen elke variant geldt een trapvorm voor het inzetten van het Lokanaal. Dit houdt in dat de hoeveelheid afvoer via het Lokanaal geregeld wordt in functie van het waterpeil op de IJzer in Fintele. Hoe hoger het waterpeil op de IJzer, hoe hoger het maximaal toelaatbaar peil op het Lokanaal en hoe groter de afvoer. Voor de regeling 'huidige toestand' werd vertrokken van een benadering van wat voorzien is in de nacalculatie van november 2023. Het Lokanaal zal daarbij ingezet worden van zodra het waterpeil op de IJzer in Fintele hoger komt dan 3.70 mTAW. Wanneer het peil op de IJzer hoger is dan 5 mTAW wordt het Lokanaal maximaal ingezet en geldt er een maximaal toelaatbaar peil van 3.70 mTAW. Daarnaast werden twee bijkomende varianten getest. In de tweede variant werd de volledige trapvorm met 30 cm omhoog geschoven, waardoor het maximaal toelaatbare peil toeneemt tot 4 mTAW. De derde variant omvat een toename van 80 cm tot 4.50 mTAW. Deze toename van 80 cm werd niet op alle onderdelen van de trapvorm toegepast om een te grote stijging bij de onderste trap te vermijden (zie Figuur 43). Merk op dat de drie varianten vooral nuttig zijn als een initiële verkenning van de mogelijkheden bij het verhogen van het maximaal toelaatbaar peil. Ze hoeven dus zeker niet als een definitieve keuze beschouwd te worden.



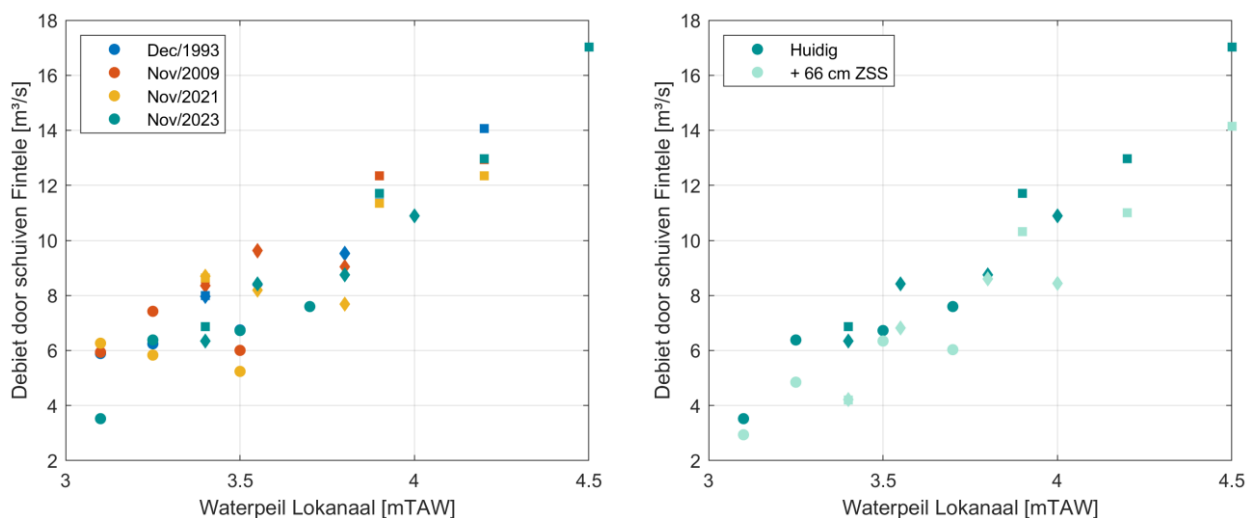
Figuur 43. Inzet Lokanaal in functie van het waterpeil op de IJzer (in Fintele) voor de drie beschouwde scenario's.

De drie varianten werden opgenomen in de modelsimulaties en vervolgens uitgevoerd voor de vier beschouwde historische gebeurtenissen. Hierbij werden nog een aantal veronderstellingen gemaakt:

- De belemmerende factoren, die momenteel geen hoger peil toelaten, kunnen in de toekomst weggewerkt worden. Het weggewerken van deze factoren vergt geen aanpassingen aan het hydraulische model.
- In Nieuwpoort gebeurt de afvoer van het Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort enkel via de Veurnesluis en de Veurnestuw. Er wordt met andere woorden geen bijkomende pompcapaciteit voorzien en de omleiding via de Dierendoncksluis en het Veurne-Ambacht gemaal wordt niet gebruikt.
- De afvoer in Duinkerke is beschikbaar, zodat het water in het pand Duinkerke – Veurne grotendeels langs die weg kan afgevoerd worden. Indien dit niet het geval is, zou een verhoging van het peil op het Lokanaal niet mogelijk zijn, aangezien het water in het pand Duinkerke – Veurne dan niet afgevoerd kan worden.

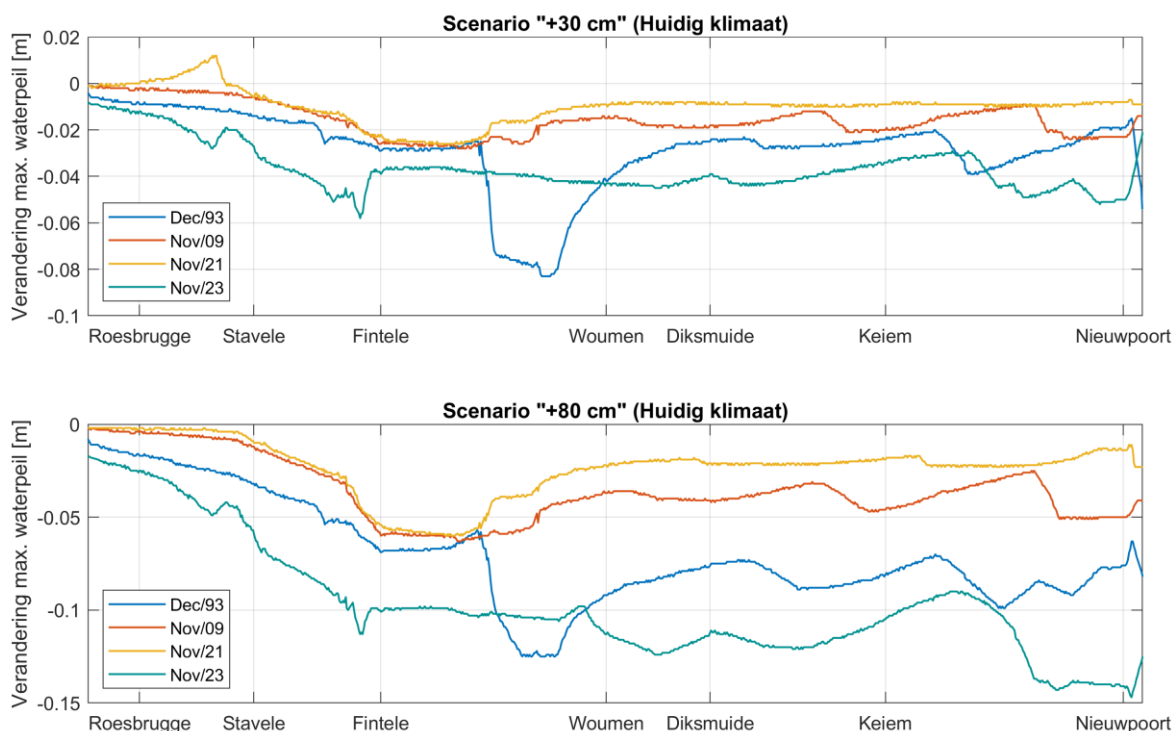
Een analyse van de simulatieresultaten bij het huidige klimaat is te vinden in de linkse grafiek van Figuur 44. Hierin wordt het gemiddelde debiet door de schuiven in Fintele, in functie van het waterpeil op het Lokanaal, getoond. Het gemiddelde is hierbij berekend over de volledige periode waarin het overeenkomstige waterpeil min of meer van toepassing was. Uit de resultaten blijkt inderdaad **dat een toename van het maximaal toelaatbare peil leidt tot een toename van de afvoer via het Lokanaal. In de meest extreme variant kan bijna een verdubbeling van het debiet door de schuiven bekomen worden:** bij een peil van 4.5 mTAW wordt gemiddeld meer dan 16 m³/s afgevoerd, terwijl dit bij een peil van 3.70 mTAW nog rond 8 m³/s schommelde.

De rechtse grafiek van Figuur 44 toont een gelijkaardige analyse, maar nu met een vergelijking van huidig klimaat (november/2023) en een zeespiegelstijging van 66 cm. De resultaten geven aan dat **de impact van deze maatregel zal dalen bij een stijgende zeespiegel.** Dit is het gevolg van de dalende afvoercapaciteit in Nieuwpoort: door de stijgende zeespiegel zal het lozingsvenster dalen en kan er per getijcyclus minder afgevoerd worden. Dit effect zet zich door tot in Fintele waardoor er minder water zal ingelaten worden vanuit de IJzer. De impact van deze maatregel wordt dus voor een deel tenietgedaan door de stijging van de zeespiegel. Andersom kan ook gesteld worden dat een stijging van het maximaal toelaatbare peil op het Lokanaal noodzakelijk is om ook in de toekomst een even groot volume te kunnen afvoeren.



Figuur 44. Gemiddelde debiet door de schuiven in Fintele in functie van het waterpeil op het Lokanaal: simulaties huidig klimaat (links) en met invloed zeespiegelstijging (rechts).

Figuur 45 toont de impact van de varianten '+ 30 cm' en '+ 80 cm' op de maximale waterpeilen op de IJzer en dit voor de vier beschouwde historische periodes in het huidige klimaat. Voor alle periodes worden beide varianten vergeleken met de basisvariant (d.i. de zwarte lijn in Figuur 43). Voor de hoogwaterperiode november 2023 wordt dus niet vergeleken met de nacalculatie. Het toelaten van een hoger maximaal peil op het Lokanaal zorgt voor een daling van de maximale waterpeilen op de IJzer, aangezien er meer water wordt afgevoerd langs het Lokanaal. De impact van de maatregel is licht verschillend voor de vier periodes. Vermoedelijk heeft dit te maken met verschillen in de duur en de mate van inzet van het Lokanaal. Ondanks de verschillen kunnen toch enkele algemene conclusies gemaakt worden. **De impact van de maatregel is grootst in de zone tussen Fintele en Woumen. De impact zal dalen naarmate men verder naar opwaarts gaat. Afwaarts van Fintele is eerst een beperkte daling van de impact te zien, waarna ze min of meer constant blijft.** De impact daalt dus niet volledig naar nul, zoals dat bij andere maatregelen soms wel het geval was.



Figuur 45. Verandering maximale waterpeilen op IJzer bij een toename van het maximaal toelaatbaar peil op het Lokanaal. Vergelijking van beide varianten ten opzichte van de basisvariant.

Het verhogen van het maximaal toelaatbare peil op het Lokanaal kan negatieve gevolgen hebben op de infrastructuur langs het kanaal. Hieronder in Tabel 9 volgt een overzicht van de mogelijke kritieke punten, hun opgemeten hoogteligging en maximaal gesimuleerde waterpeil. Het maximaal gesimuleerde waterpeil is het peil dat gesimuleerd werd in het scenario nov/2023 en de variant + 80 cm. Voor een aantal bruggen is er mogelijks sprake van negatieve gevolgen van het verhogen van het waterpeil. Op dit moment is er echter onvoldoende informatie om te kunnen inschatten wat deze gevolgen en hun impact zullen zijn.

Tabel 9. Opmetingen hoogteligging bruggen langs Lokanaal.

Locatie	Max. waterpeil simulatie [mTAW]	Meting	Niveau [mTAW]
Fintelebrug	4.5	Onderkant brug	4.8
		Bovenrand sluisdeur	5.3
Kellenaarsbrug (Pollinkhove)	4.5	Onderkant brug	5.3
		Dienstgebouw + elektriciteitscabine	5.5
Lobrug (Lo)	4.5	Opening brugkelder	4.45
		Onderkant brug	4.65
Millebrug (Oerenstraat)	4.47	Dienstgebouw + elektriciteitscabine	4.4
Kortewildebrug (Steenkerke)	4.35	Onderkant brug	4.8
		Wegdek	5.4
Rozebrug (Zuidbrugweg, Veurne)	4.32	Onderkant brug	4.05
		Wegdek	5.5

Tot slot kan ook nog verwezen worden naar de dijken van het Lokanaal. Op basis van de informatie in het hydraulische model wordt de dijkhoogte opwaarts van Veurne ingeschat op 5 mTAW of hoger. Een toename van het maximaal toelaatbare peil op het Lokanaal tot 4.5 mTAW leidt dus waarschijnlijk niet tot een overstroming van de dijken. Mogelijks kan een dergelijke hoge belasting wel leiden tot dijkinstabiliteiten. Daar is op dit moment eveneens weinig informatie over.

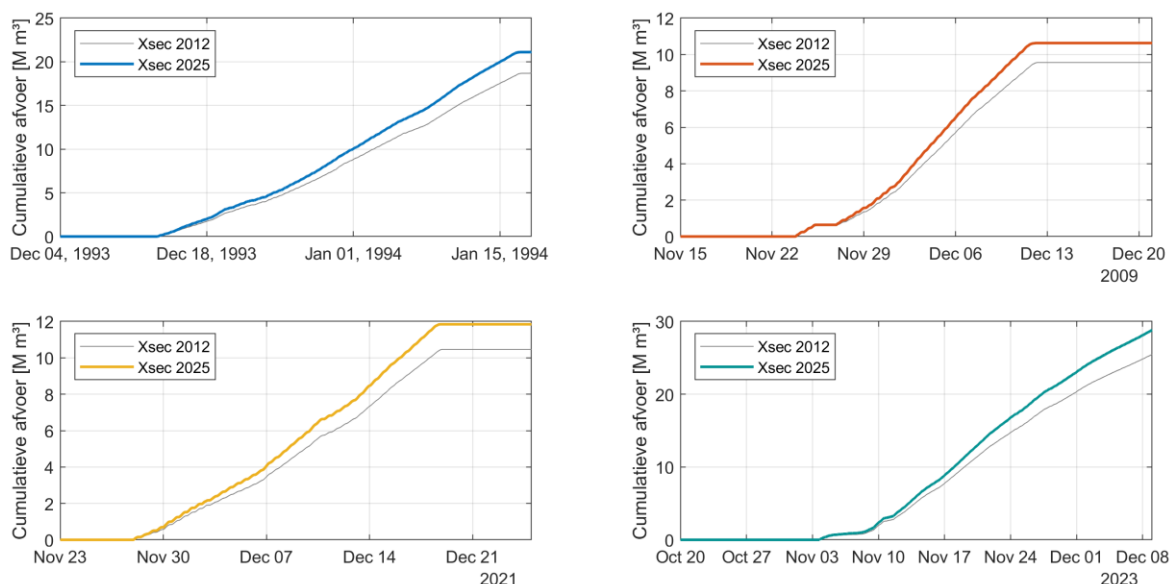
4.4.3 Baggerwerken Lokanaal

Één van de korte termijn acties die geformuleerd werden in het advies Weerbare Westhoek was het uitvoeren van baggerwerken op het Lokanaal. Meer bepaald het inhalen van achterstallige onderhoudsbaggerwerken en het herstellen van het Lokanaal op het theoretische profiel. Deze baggerwerken werden uitgevoerd in 2024 en 2025. In deze sectie zal een inschatting gemaakt worden van het effect van deze baggerwerken op de afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal. Belangrijk om op te merken hier is dat deze maatregel pas op het einde van de studieopdracht behandeld werd. De nieuwe dwarsprofielen werden niet meegenomen in de analyses die uitgevoerd werden in de andere secties van dit hoofdstuk.

De onderhoudsbaggerwerken hadden tot doel om de dwarsprofielen van het Lokanaal terug te brengen tot het theoretische profiel. In het hydraulische model werd voor het Lokanaal tot dusver gerekend met dwarssecties die opgemeten werden in 2012. De dwarssecties in het model werden geüpdatet naar de toestand van 2025, op basis van bathymetrische opmetingen die uitgevoerd werden na voltooiing van de baggerwerken. Concreet betekent dit dat lokale drempels weggewerkt werden en dat het bodempeil verlaagd werd tot een niveau van 0 à 0.2 mTAW. Dit komt overeen met een daling van gemiddeld 50 cm over de volledige afstand tussen Fintele en Veurne.

Voor de vier geselecteerde scenario's werden opnieuw simulaties uitgevoerd, waarbij enkel de dwarssecties van het Lokanaal aangepast werden. Alle andere parameters, sturingsregels en eventueel ogenomen maatregelen bleven zoveel mogelijk behouden. Op die manier werd getracht om de invloed van de

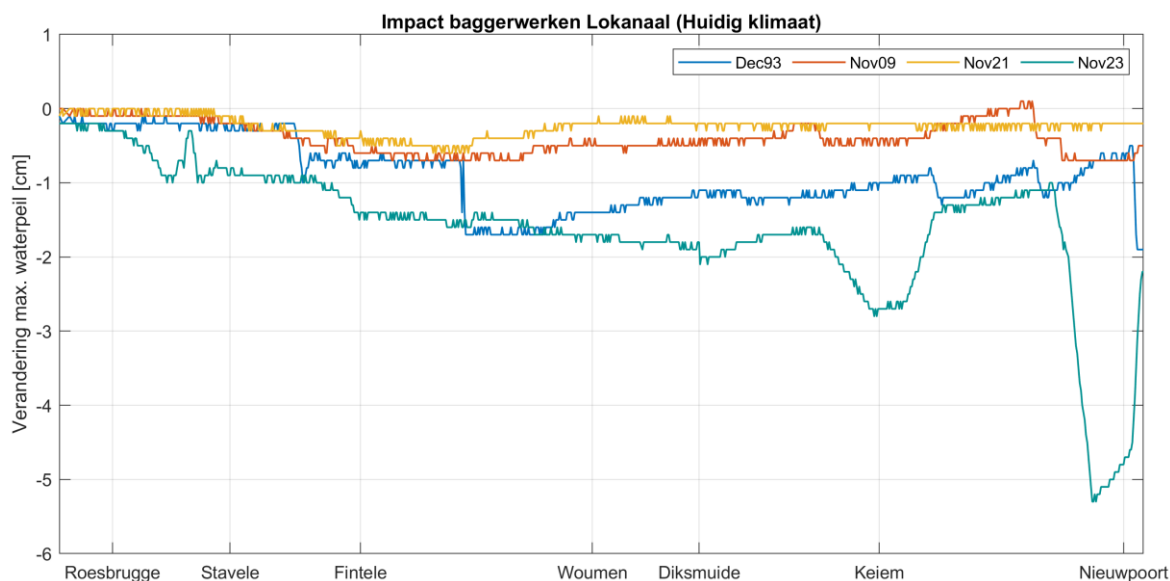
baggerwerken zoveel mogelijk te isoleren. De resultaten van deze nieuwe simulaties worden in Figuur 46 vergeleken met de toestand voor de baggerwerken. De grafieken in deze figuur tonen voor elke historische periode de toename van het afgevoerde volume vanuit de IJzer via het Lokanaal. **Gemiddeld gezien gaat het over de volledige lengte van de gesimuleerde periode over een toename van 13 %.** De toename van het afgevoerde volume is van dezelfde grootteorde als de toename van de afvoersectie. Bij een waterpeil van 3.5 mTAW in het Lokanaal neemt de afvoersectie gemiddeld met 14 % toe dankzij de uitgevoerde baggerwerken.



Figuur 46. Toename van het cumulatief afgevoerd volume vanuit de IJzer via het Lokanaal, dankzij de uitgevoerde baggerwerken (2025). Cijfers voor het huidige klimaat.

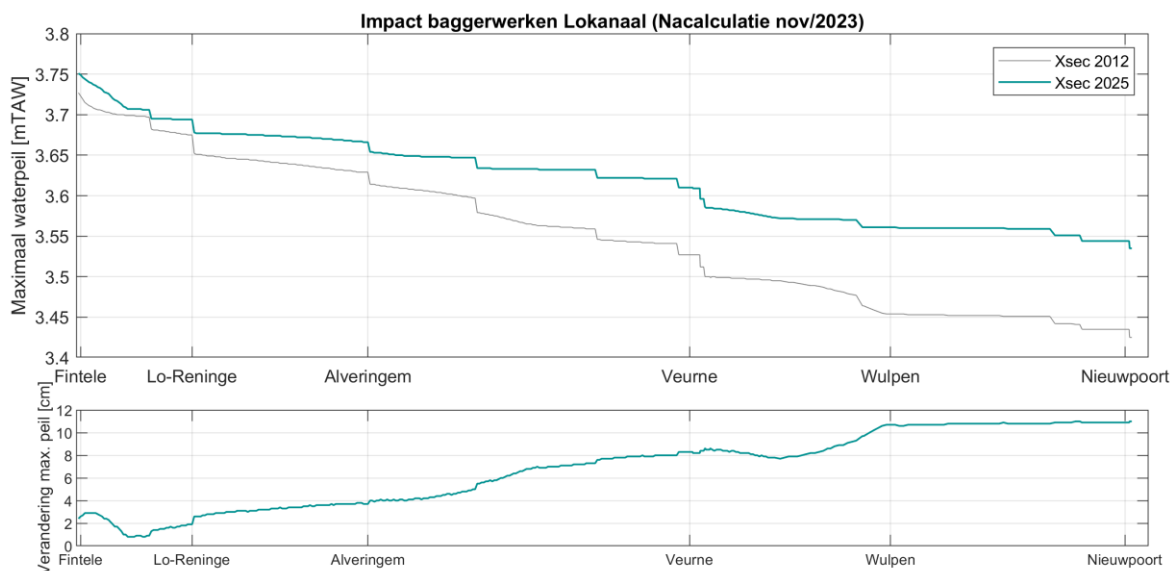
De impact van de toegenomen afvoer via het Lokanaal op de waterpeilen in de IJzer is getoond in Figuur 47. Voor elk van de vier historische periodes is de verandering van het maximale waterpeil over de volledige lengte van de IJzer getoond. **Voor de events die uit één afvoergolf bestaan (nov/2009 en nov/2021) beperkt de daling zich tot minder dan 1 cm.** Voor de events die uit meerdere afvoergolven bestaan, kan de daling toenemen tot ca. 2 cm. De daling is het grootst in de omgeving van Fintele, blijft min of meer constant naar afwaarts en daalt naar opwaarts. Ondanks de toename van de afvoer via het Lokanaal, blijft de impact op de maximale waterpeilen in de IJzer dus beperkt. Dit is vermoedelijk te wijten aan de verhouding van de afvoer via het Lokanaal en de IJzer. Op het moment van de maximale waterpeilen leidt de toegenomen afvoersectie van het Lokanaal tot een stijging van het debiet door de schuiven in Fintele van ongeveer 2 m³/s. Op hetzelfde moment blijft het debiet op de IJzer echter hoog, met waarden tussen 80 en 90 m³/s. Een daling daarvan met 2 m³/s is relatief gezien veel kleiner dan de toename van het debiet op het Lokanaal. Bijgevolg is het ook te verwachten dat de maximale peilen op de IJzer slechts beperkt dalen. Het aanwezige volume water is zodanig groot dat een toename van de afvoer met 2 m³/s slechts een beperkt effect heeft.

De cijfers die in deze sectie bekomen werden, zijn kleiner dan wat bekomen werd in de vorige sectie. Wanneer men echter een vergelijking maakt van het gedaalde waterpeil op de IJzer, in functie van de gestegen afvoer via het Lokanaal, dan liggen de hier berekende cijfers in lijn met wat begroot werd in de vorige sectie.



Figuur 47. Verandering maximale waterpeilen op IJzer na uitvoeren van onderhoudsbaggerwerken Lokanaal (2025). Cijfers voor de vier historische periodes en het huidige klimaat.

Figuur 48 toont het gevolg van de baggerwerken op de maximale waterpeilen in het Lokanaal en het pand Veurne-Nieuwpoort van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Net afwaarts van de stuw in Fintele wordt een beperkte toename van het maximale waterpeil voorspeld. Dit beperkte verschil is gelinkt aan de aansturing van de stuw in Fintele. Deze wordt in het model zodanig geregeld dat een bepaald maximaal toelaatbaar peil gerealiseerd wordt afwaarts van de stuw. Aan deze aansturing is niets veranderd, waardoor geen groot verschil te verwachten is. **De toename van de afvoersectie leidt wel tot een toename van het debiet bij hetzelfde waterpeil in Fintele. Deze toename leidt verder afwaarts op het Lokanaal tot een toename van de maximale waterpeilen.** Er wordt immers meer water aangevoerd vanuit de IJzer, maar aan de afvoercapaciteit naar zee (zowel gravitair als pompen) is niet gewijzigd. Dit leidt tot een grotere vulling van het kanaal en dus tot hogere waterpeilen.



Figuur 48. Verandering maximale waterpeilen op het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort) na uitvoeren van onderhoudsbaggerwerken Lokanaal (2025). Cijfers voor nov/2023.

4.4.4 Conclusies

De derde bouwsteen beoogde een toename van de afvoer via het Lokanaal. Hierbij werden een bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis, een toename van het maximaal toelaatbare peil en de uitgevoerde baggerwerken onderzocht.

Bij de maatregel rond bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis in Nieuwpoort werden verschillende groottes van pompcapaciteit geëvalueerd. Allen leidden ze tot een daling van de maximale waterpeilen op het Lokanaal en een toename van de afvoer via het Lokanaal. De toename van de afvoer vanuit de IJzer is echter kleiner dan de toename van de capaciteit in Nieuwpoort. Dit is het gevolg van het maximaal toelaatbare peil op het Lokanaal in Fintele. Indien dit niet gewijzigd wordt, dan kan binnen dezelfde dwarssectie slechts een beperkte toename van de afvoer gerealiseerd worden.

Een toename van de pompcapaciteit aan de Veurnesluis lijkt in de toekomst wel noodzakelijk te worden. Bij een stijging van de zeespiegel kan het lozingsvenster danig inkorten, aangezien het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort een relatief laag normaalpeil heeft t.o.v. het peil op zee. Het waterpeil op het kanaal kan hierdoor in de toekomst sterk stijgen ook wanneer er geen water wordt aangevoerd vanuit IJzer.

Het verhogen van het maximaal toelaatbaar peil op het Lokanaal leidt duidelijk tot een toename van de afvoer langs het kanaal. In de onderzochte varianten konden op de IJzer aanzienlijke dalingen van het waterpeil bekomen worden indien op het Lokanaal een maximaal peil van 4.50 mTAW gerealiseerd kon worden. Dit is echter aanzienlijk hoger dan wat momenteel als maximaal toelaatbaar wordt verondersteld. Bijkomend onderzoek is dus nodig om na te gaan in hoeverre het waterpeil verhoogd kan worden en welke ingrepen nodig zijn om dit te kunnen realiseren.

De baggerwerken die uitgevoerd werden in 2024 en 2025, met als doel achterstallig onderhoud weg te werken en het theoretische profiel te herstellen, leiden tot een toename van de afvoer via het Lokanaal. Deze toename is van dezelfde grootteorde als de gemiddelde toename van de dwarssectie. De toename van de afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal leidt slechts tot een beperkte daling van de maximale waterpeilen op de IJzer. Op het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort (pand Veurne-Nieuwpoort) zorgt dit voor een stijging van de maximale waterpeilen. Deze stijging is het grootst in het meest afwaartse gedeelte, vermoedelijk omdat er niets wijzigt aan de afvoercapaciteit in Nieuwpoort.

De drie maatregelen die onderzocht werden in deze bouwsteen, zijn elk afzonderlijk opgenomen in het hydraulische model. Combinaties ervan werden niet apart gemodelleerd. Dit heeft grotendeels te maken met de verschillende fases van deze studie en hoe het rapport tot stand is gekomen. Het wordt echter verwacht dat een combinatie van maatregelen tot een grotere impact zal kunnen leiden dan beide maatregelen afzonderlijk. De maatregelen lijken mekaar immers niet tegen te werken en daarnaast hebben ze alle drie een positieve impact op de afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal.

4.5 Bouwsteen 4: Afvoer pand Duinkerke – Veurne (Kanaal Duinkerke – Nieuwpoort)

Het pand Duinkerke-Veurne van het kanaal Duinkerke-Nieuwpoort flirtte tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 meermaals met de alarmdrempel van 3 mTAW. Enkele malen werd deze alarmdrempel ook effectief overschreden. Een dergelijk hoog waterpeil heeft een negatieve impact op de afwatering van de Moeren en de omliggende zones, kan het Langeleed onder druk zetten en wordt ook in Frankrijk als hinderlijk ondervonden. De waterbeheersing van dit pand gebeurde enerzijds door maatregelen in Vlaanderen, met (nood)pompen aan de Nieuwpoortsluis in Veurne, en anderzijds via samenwerkingen met Frankrijk met lozingen via de Vannes de Furnes in Duinkerke. Binnen deze bouwsteen werd de afvoer van het pand Duinkerke-Veurne verder bestudeerd. De volgende onderzoeksvragen kwamen hierbij aan bod:

- Wat was de impact van de schuiven (Vannes de Furnes) in Duinkerke? Of met andere woorden: wat zou er gebeurd zijn indien deze niet beschikbaar waren? (§ 4.5.1)
- Kan een bijkomende gravitaire afvoermogelijkheid naar zee gerealiseerd worden? En hoe groot moet deze zijn om eenzelfde effect te bekomen als de Vannes de Furnes? (§ 4.5.2)
- Stel dat zowel de Vannes de Furnes als de nieuwe gravitaire afvoermogelijkheid beschikbaar zouden zijn, kan dan via het Lokanaal extra water afgevoerd worden van de IJzer?
- Kan extra pompcapaciteit in Veurne helpen om de waterbeheersing van het pand Duinkerke-Veurne te verbeteren? En is deze waterbeheersing haalbaar zonder afvoer in Frankrijk? (§ 4.5.3)
- Kan de gecombineerde inzet van de schuiven in Duinkerke en extra pompcapaciteit in Veurne voordelen opleveren voor zowel het pand Duinkerke-Veurne als de IJzer?

Bij het onderzoeken van de verschillende maatregelen werd enkel gebruik gemaakt van het eerder beschreven A2-model en de nacalculatie van november 2023. Het model dat gebruikt werd om de andere scenario's door te rekenen bevat een onvoldoende nauwkeurige voorstelling van het pand Duinkerke-Veurne en is daarom onvoldoende geschikt om hier te gebruiken. Bij het uitvoeren van de simulaties is telkens vertrokken van de nacalculatie en werden de veronderstelde maatregelen geïmplementeerd in het model. Andere maatregelen die uitgevoerd werden tijdens de hoogwaterperiode van november 2023, bv. aan de Ganzepoot, bleven opnieuw behouden in dit model.

Het alarmpeil van het pand Duinkerke-Veurne is momenteel ingesteld op 3 mTAW. Tijdens de overlegmomenten in het kader van dit onderzoek kwam de mogelijkheid tot het verhogen van dit alarmpeil aan bod. Er werd in deze studie niet bekeken in hoeverre dit mogelijk of toelaatbaar is en welke aanpassingen nodig zijn om tot een hoger alarmpeil te komen.

4.5.1 Impact Vannes de Furnes

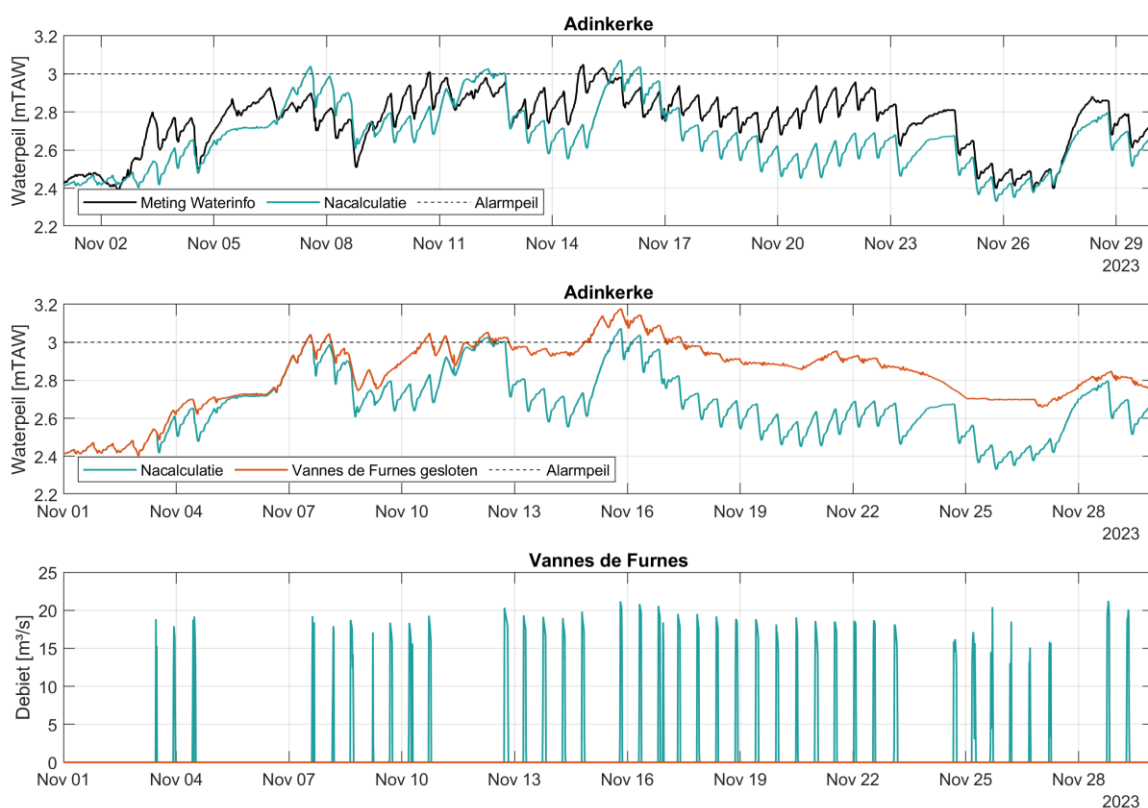
In een eerste verkennende analyse werd nagegaan wat de impact was van de Vannes de Furnes in Duinkerke op de waterbeheersing van het pand Duinkerke-Veurne van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Dat deze impact belangrijk was, is duidelijk te zien in het gemeten waterpeil in bv. Adinkerke. In de periodes dat de schuiven geopend werden, is een duidelijke en sterke daling van het waterpeil waarneembaar. De schuiven werden niet geopend tussen 4 en 7 november, op 11 november en in de ochtend van 15 november. Ook dit is duidelijk te zien in de metingen door de stijging van het waterpeil. Op deze momenten konden de schuiven niet geopend worden omdat in Duinkerke ook water van het Canal des Moères, het Canal de Bergues en het Canal de Jonction moest afgevoerd worden na de neerslagevents. Tussen 5 en 8 november was er ook sprake van verhoogde laagwaters op zee.

Om de meerwaarde van de Vannes de Furnes te begroten werden deze schuiven in een eerste simulatie volledig gesloten gehouden. Tijdens de nacalculatie werd gebruik gemaakt van de werkelijk opgemeten schuifopeningen. Deze werden voor deze simulatie dus doelbewust op nul gehouden. De afvoer van het pand Duinkerke-Veurne moet dan volledig via de Nieuwpoortsluis in Veurne gebeuren. Hier kan gravitair afgevoerd worden via de sluis indien de waterpeilen dit toelaten en via de (nood)pompen. Figuur 49 toont de resultaten van deze eerste analyse. In de bovenste grafiek wordt een vergelijking gemaakt van de gemeten waterpeilen en de gesimuleerde waterpeilen uit de nacalculatie, ter hoogte van het meetpunt in Adinkerke. Deze grafiek toont aan dat het model in staat is om het geobserveerde gedrag van het waterpeil voldoende goed te benaderen. Wel wordt opnieuw opgemerkt dat de capaciteit van de Vannes de Furnes mogelijks overschat wordt. Bij opening van de schuiven daalt het waterpeil in het model sterker dan in de metingen. Dit betekent ofwel een overschatting van de afvoercapaciteit of een onderschatting van de aanvoer naar het kanaal. Dit werd niet verder in detail onderzocht.

De tweede grafiek in Figuur 49 toont de simulatieresultaten van de nacalculatie en vergelijkt deze met de simulatie zonder inzet van de Vannes de Furnes. De impact is duidelijk zichtbaar: voor een groot deel van de simulatie worden slechts beperkte dalingen gesimuleerd, omwille van de beperkte afvoermogelijkheden in Veurne. Enkel op 7, 8 en 11 november kon er gravitair geloozd worden via de Nieuwpoortsluis. Op alle

andere momenten verliep de afvoer via de pompen. Het resultaat is een toename van het maximale waterpeil met 10 cm, tot bijna 3.20 mTAW, en een groter aantal en langere overschrijding van de alarmdrempel (3 mTAW). Het duurt ook aanzienlijk langer vooraleer het pand terug zijn normale peil bereikt.

Tot slot is in de onderste grafiek van Figuur 49 het gesimuleerde debiet door de Vannes de Furnes getoond. Zoals eerder al beschreven is voor de berekening van dit debiet rekening gehouden met de opgemeten openingen. In de grafiek is te zien dat een debiet van 20 m³/s bereikt kan worden bij opening van beide schuiven. Per opening komt dit overeen met een gemiddeld geloosd volume van bij benadering 100 000 m³ water.



Figuur 49. Vergelijking metingen (zwart) en simulatieresultaten voor het pand Duinkerke-Veurne van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Nacalculatie (groen) en simulatie zonder afvoer via Vannes de Furnes (rood).

4.5.2 Bijkomende afvoerweg

In de vorige sectie werd aangetoond dat de Vannes de Furnes tijdens de hoogwaterperiode november 2023 cruciaal waren voor de waterbeheersing van het pand Duinkerke-Veurne van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Het niet beschikbaar zijn van deze afvoermogelijkheid kan dus als problematisch beschouwd worden. Het water in het pand Duinkerke-Veurne zou dan immers via Nieuwpoort naar zee afgevoerd moeten worden. In dergelijk geval zou het Lokanaal slechts beperkt kunnen ingezet worden om water van de IJzer af te voeren, omdat in Veurne een voldoende laag peil gehaald moet worden zodat er gravitair afgevoerd kan worden van het pand Duinkerke-Veurne naar het pand Veurne-Nieuwpoort. Daarom wordt in deze sectie onderzoek gedaan naar de hydraulische meerwaarde van een bijkomende afvoermogelijkheid voor het pand Duinkerke-Veurne. De extra afvoermogelijkheid wordt geconceptualiseerd als een koker die onder of door de duinengordel tussen De Panne en Bray-Dunes loopt, op de locatie waar de afstand tussen het kanaal en de zee ongeveer het kortst is (zie Figuur 50). Het onderzoek is een verkennende analyse en focust zich louter op de hydraulische meerwaarde. Andere aspecten van een mogelijke realisatie (praktisch, juridisch, financieel, ...) worden hier dus niet behandeld.



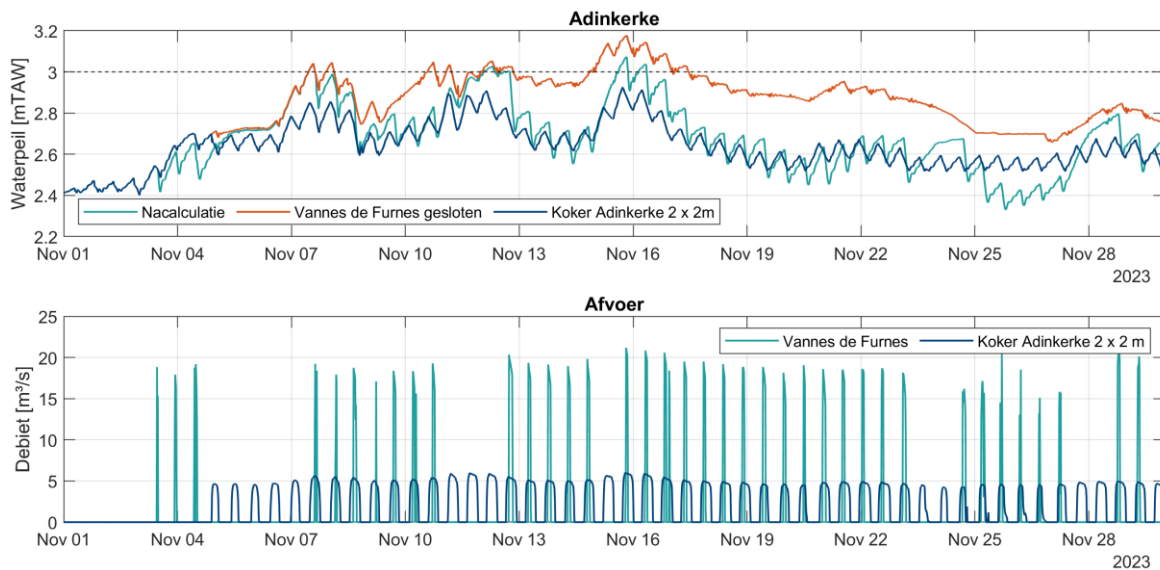
Figuur 50. Potentiële locatie voor een bijkomende afvoermogelijkheid voor het pand Duinkerke-Veurne.

4.5.2.1 Geen afvoer in Duinkerke

Bij het uitvoeren van het onderzoek en het toevoegen van de koker aan het hydraulische model werd rekening gehouden met de volgende elementen:

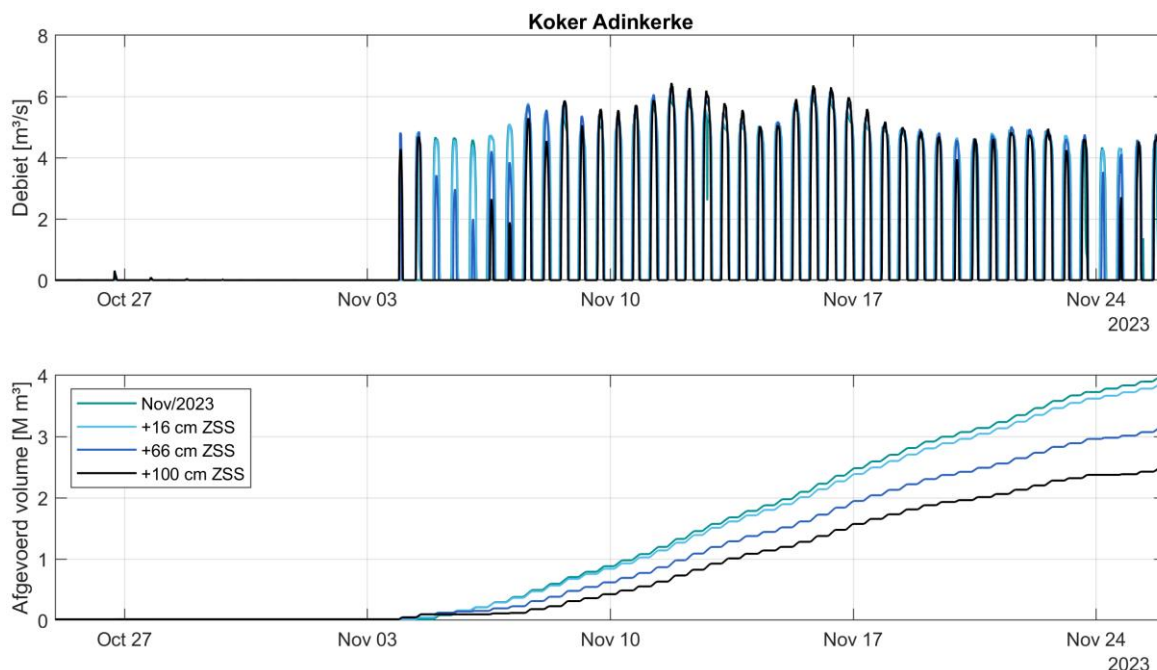
- Er werden simulaties uitgevoerd met verschillende diameters voor een cirkelvormige koker, nl. met diameters van 0,5, 1 en 2 meter. Deze eerste verkennende analyse kan inzichten geven in de afvoercapaciteit van de kokers en de impact ervan op de waterbeheersing.
- Er werden geen kokers met een diameter groter dan 2 m beschouwd. Vanaf een bepaalde diameter wordt de koker nl. te groot en zal hij niet volledig benut worden. Bijvoorbeeld wanneer de bovenkant aan de zijde van het kanaal boven het peil van het kanaal ligt, of wanneer de onderkant aan zeezijde steeds onder laagwater ligt. Om toch nog grotere afvoercapaciteiten te bekomen werden daarom meerdere kokers van 2 m parallel naast elkaar verondersteld.
- De koker(s) werden aan kanaalzijde uitgerust met een regelbare structuur waarmee de inzet van de kokers geregeld kan worden. Deze kokers openen wanneer er sprake is van een noodsituatie (overschrijding alarmdrempel op IJzer in Fintele) en wanneer het waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne hoger is dan 2,5 mTAW.
- De Vannes de Furnes in Duinkerke bleven gesloten, waardoor er dus geen afvoer was langs deze weg.

Figuur 51 toont de resultaten van de simulatie waarin **twee kokers van 2 m diameter werden verondersteld voor de bijkomende afvoermogelijkheid**. Dit is de combinatie waarbij de afgevoerde volumes het dichtst de capaciteit van de Vannes de Furnes benaderde. De combinaties met kleinere afmetingen of slechts één koker leidden allen tot een lagere afvoer. De bovenste grafiek in Figuur 51 vergelijkt de gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van Adinkerke voor drie relevante simulaties. De simulatie waarin 2 kokers met 2 m diameter verondersteld werden, leidt tot een maximaal waterpeil van 2,93 mTAW, wat 14 cm lager is dan het maximale peil tijdens de nacalculatie. De onderste grafiek vergelijkt het debiet door de Vannes de Furnes en door de nieuwe kokers ter hoogte van Adinkerke. De capaciteit van de nieuwe kokers is iets minder dan 6 m³/s, wat aanzienlijk lager is dan de capaciteit van de Vannes de Furnes. De nieuwe kokers kunnen echter langer lozen richting zee, waardoor ze toch een vergelijkbaar volume kunnen afvoeren (ca. 100 000 m³ per lozing). Bovendien moeten de kokers geen of minder rekening houden met beperkingen op het gebruik, waardoor ze in principe elke getijcyclus ingezet kunnen worden. Het is dan ook dit voordeel dat tot de lagere maximale peilen leidt.



Figuur 51. Vergelijking simulatiesresultaten voor pand Duinkerke-Veurne: Nacalculatie (groen), simulatie zonder afvoer in Duinkerke (rood) en simulatie met inzet 2 kokers 2 m diameter in Adinkerke (blauw).

Aangezien het hier om een gravitaire afvoer richting zee gaat, is het belangrijk om ook rekening te houden met de zeespiegelstijging. Omwille van het relatief lage waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne ten opzichte van het peil op zee en de te overbruggen afstand naar zee, zullen de waterpeilen in de kokers aan zeezijde ook relatief laag moeten liggen. Het gravitaire lozingsvenster van de kokers kan daardoor snel krimpen en de afvoer capaciteit van de kokers doen dalen. Figuur 52 beschrijft het afgevoerde volume door de kokers ten tijde van november 2023 en bij verschillende scenario's voor de zeespiegelstijging. In alle simulaties verliep de afvoer van het pand Duinkerke – Veurne enkel via de veronderstelde kokers van twee keer twee meter diameter. **Zoals verwacht zal het afgevoerde volume door de kokers dalen ten gevolge van de stijgende zeespiegel. Voor de scenario's met een stijging van 16, 66 en 100 cm gaat het over een daling van het totaal afgevoerde volume met respectievelijk 3, 20 en 35 procent.** Opvallend is wel dat de stijgende zeespiegel voor een groot aantal getijcycli nauwelijks impact lijkt te hebben op het debiet door de kokers. Het verschil is vooral te zien in het aantal lozingen en de lengte van het lozingsvenster. Zo is omstreeks het dooftij van 5 en 6 november een sterke terugval in het debiet te zien. Dit is de meest kritieke periode voor het kanaal en zal bijgevolg tot hogere waterpeilen leiden.

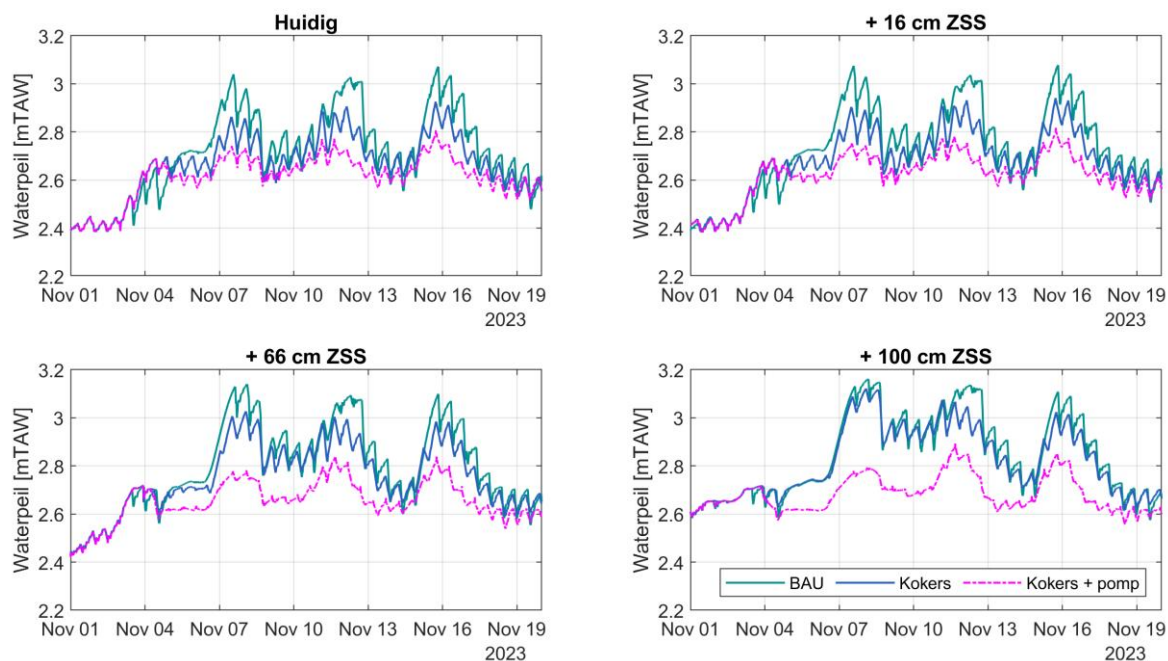


Figuur 52. Vergelijking simulatieresultaten pand Veurne – Duinkerke ten tijde van november 2023 voor verschillende scenario's zeespiegelstijging. Met (blauw) en zonder (groen) de veronderstelde kokers. In alle simulaties blijft de afvoer in Duinkerke gesloten.

Omwille van de dalende impact bij een stijging van de zeespiegel werd nog een bijkomende variant onderzocht waarin de kokers aan zeezijde uitgerust zijn met een pompstation. Op die manier kan ook bij hoogtij een voldoende grote afvoer gerealiseerd worden. Figuur 53 toont het gesimuleerde waterpeil in het pand Duinkerke – Veurne voor verschillende scenario's voor de zeespiegelstijging en verschillende mogelijke manieren van afvoeren:

- Een variant waarbij de afvoer via de Vannes de Furnes gebeurt (BAU in Figuur 53). Hierbij werd vertrokken van de historische tijdreeks van openingen, met de bijkomende voorwaarde dat de schuiven enkel geopend mogen worden indien het afwaartse peil voldoende laag is. Op die manier kan hier toch rekening gehouden worden met de zeespiegelstijging.
- De variant waarbij de afvoer enkel via de twee kokers van twee meter diameter verloopt ('Kokers' in Figuur 53). Dit is de variant die hierboven reeds besproken werd.
- De bijkomende variant waarin de kokers uitgerust zijn met een pompstation van 2.5 m³/s. Deze pompcapaciteit komt bij benadering overeen met de gemiddelde afvoer op dagbasis van de kokers bij de huidige zeespiegel. In deze variant verloopt de afvoer via de kokers gravitair indien dit mogelijk is en anders via het pompstation.

De impact van het bijkomende pompstation is duidelijk te zien in Figuur 53. **Na toevoeging van het pompstation kan meer afvoer gegenereerd worden en zullen de maximale waterpeilen lager liggen.** Voor grotere stijgingen van de zeespiegel zal de variant met enkel kokers steeds dichterbij de variant met enkel de Vannes de Furnes. In de kritieke periodes tijdens doortij zullen beide simulaties dicht bij elkaar liggen: in beide varianten is er dan namelijk bijna geen mogelijkheid om water gravitair af te voeren. Bijgevolg is de impact van het pompstation dan ook groter in de scenario's met hogere zeespiegelstijging. Het pompstation zal dan langer werkzaam zijn.



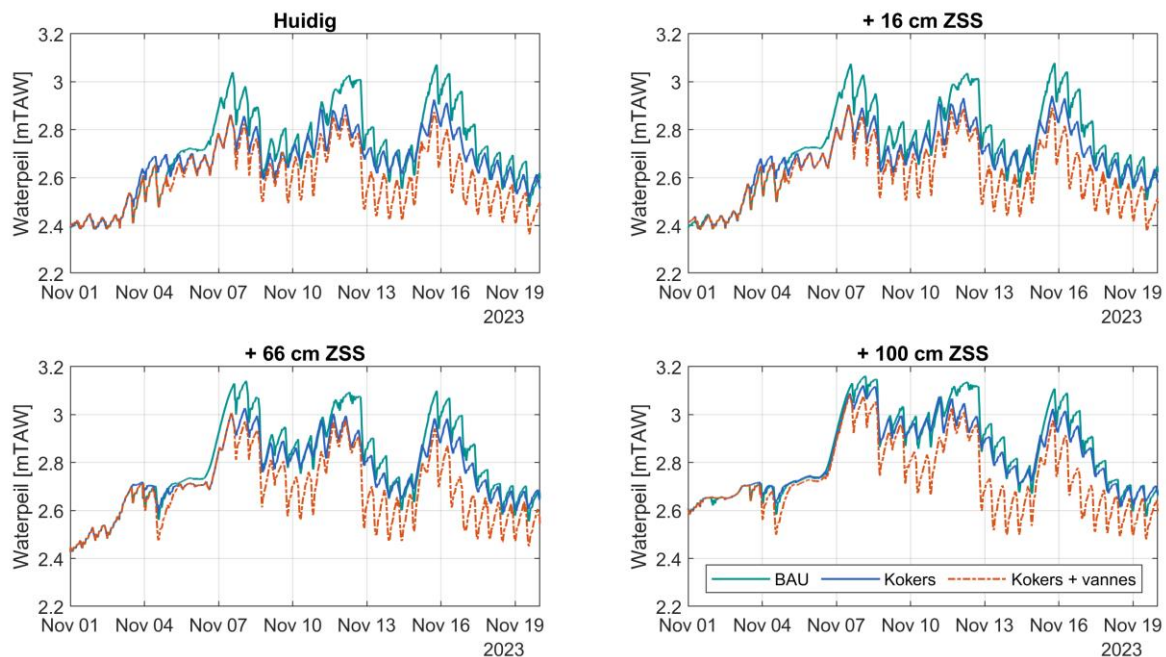
Figuur 53. Simulatieresultaten waterpeil pand Duinkerke-Veurne bij verschillende varianten en zeespiegelstijging. Enkel Vannes de Furnes (groen), enkel kokers (blauw), kokers met pompstation (paars).

4.5.2.2 Afvoer via Duinkerke en bijkomende afvoerweg

In de vorige sectie werd een inschatting gemaakt van de benodigde afmetingen van een extra gravitaire afvoermogelijkheid voor het kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Hierbij werd getracht om eenzelfde volume te kunnen afvoeren als de Vannes de Furnes in Duinkerke, om zo voldoende afvoercapaciteit te behouden op het moment dat de Vannes de Furnes niet beschikbaar zouden zijn. In deze sectie wordt verder gebouwd op de voorgaande oefening, waarbij onderzocht wat de impact is van een gecombineerde inzet van de schuiven in Duinkerke en de kokers in Adinkerke.

Voor deze onderzoeksvraag werden simulaties uitgevoerd waarbij zowel de Vannes de Furnes in Duinkerke als de veronderstelde kokers van 2 m diameter gebruikt werden om water af te voeren. Dit werd gedaan voor verschillende scenario's voor de zeespiegelstijging. Beide afvoerwegen werden op dezelfde manier als eerder ingezet. Voor de inzet van de Vannes de Furnes werd opnieuw vertrokken van de historische tijdreeksen van openingen. De nieuwe kokers werden ingezet indien het waterpeil op de IJzer in Fintele het waakpeil (4.25 mTAW) overschrijdt en het waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne hoger is dan 2.5 mTAW. Indien geen gravitaire afvoer mogelijk is, blijven de kokers gesloten.

Figuur 54 toont de resultaten van de eerste onderzoeksvraag en vergelijkt deze met de simulaties waarin ofwel enkel de Vannes de Furnes ofwel enkel de kokers ingezet werden. Deze resultaten werden ook al getoond in Figuur 53. In de grafieken van Figuur 54 is te zien dat **een gecombineerde inzet van beide afvoerwegen tot lagere waterpeilen op het kanaal kan leiden**. Opvallend is echter dat **de maximale waterpeilen niet significant lijken te verschillen**, ten opzichte van het scenario waarin enkel de kokers ingezet worden. Dit is te wijten aan de condities op zee: bij doortij of een aanzienlijke stijging van de zeespiegel zullen er momenten optreden waarin geen gravitaire afvoer naar zee mogelijk is en waarin de peilen in het kanaal zullen stijgen. Aangezien beide afvoerwegen gravitair werken zal hun gecombineerde inzet hier niets aan kunnen veranderen. Deze vaststellingen lijken van toepassing voor alle beschouwde scenario's rond zeespiegelstijging. Voor het meest extreme scenario liggen de resultaten van gecombineerde inzet opnieuw dicht bij de resultaten van de variant waarin enkel de Vannes de Furnes ingeschakeld werden.



Figuur 54. Simulatieresultaten waterpeil pand Duinkerke-Veurne bij verschillende varianten van een bijkomende afvoerweg en zeespiegelstijging. Enkel Vannes de Furnes (groen), enkel kokers (blauw), kokers en Vannes de Furnes (rood).

4.5.2.3 Gecombineerde inzet

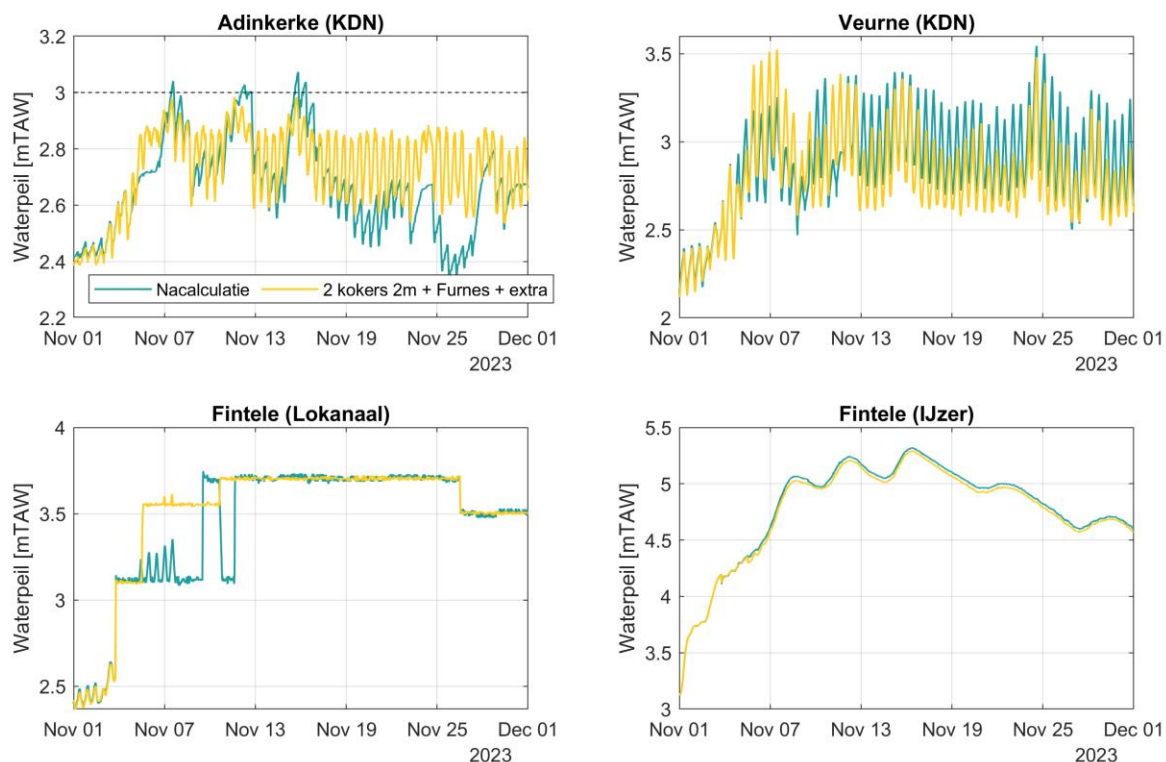
In de simulaties horende bij de variant waarin beide afvoerwegen ingezet worden in het scenario huidig klimaat is te zien dat de kokers minder water afvoeren dan bij de variant waarin enkel de kokers beschikbaar zijn. Dit heeft te maken met de aansturing van de kokers. Wanneer het peil op het kanaal voldoende gezakt is, zullen de kokers namelijk niet meer ingezet worden. Dankzij de gecombineerde inzet wordt dit moment sneller bereikt. Dit zou mogelijkheden kunnen bieden om via de kokers nog bijkomend water af te voeren vanuit het Lokanaal en dus vanuit de IJzer. Om na te gaan of er effectief water vanuit het Lokanaal naar zee kan afgevoerd worden via de veronderstelde nieuwe kokers werd een nieuwe simulatie opgestart. Hierbij werd vertrokken van de nacalculatie en werden de volgende aanpassingen gemaakt aan het model:

- De Vannes de Furnes worden ingezet volgens de geregistreerde openingen. Dit is geen wijziging ten opzichte van de nacalculatie, maar is hier voor de volledigheid toch toegevoegd.
- Ter hoogte van Adinkerke worden 2 nieuwe kokers met een diameter van 2 m toegevoegd aan het model. Deze kokers zullen gravitair water kunnen afvoeren en zullen ingeschakeld worden wanneer het waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne hoger is dan 2.5 mTAW en wanneer er op de IJzer sprake is van een overschrijding van het waakpeil.
- Ter hoogte van de Nieuwpoortsluis in Veurne wordt gravitaire afvoer van het pand Veurne-Nieuwpoort naar het pand Duinkerke-Veurne toegelaten. Dit is dus omgekeerd aan de normale stromingsrichting. Deze afvoer wordt toegelaten zolang het waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne niet hoger is dan 2.85 mTAW. Dit is 15 cm onder de alarmdrempel.
- De aansturing van de schuiven in Fintele, wordt aangepast. Tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 werd het Lokanaal niet direct volledig benut in Fintele. Dit om op het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort gravitaire afvoer toe te laten van het pand Duinkerke-Veurne naar het pand Veurne-Nieuwpoort. Aangezien hier verondersteld wordt dat er water in de omgekeerde richting gestuurd wordt, mag het Lokanaal dus sneller aan zijn maximale capaciteit ingezet worden. Om dit mogelijk te maken werd de tijdreeks van het afwaartse regelpeil aangepast (zie grafiek linksonder in Figuur 55).
- Alle andere maatregelen uit de nacalculatie (bv. de mobiele pompen aan de Ganzepoot) bleven behouden in deze simulatie.

Bovenstaande aanpak is een mogelijkheid om te proberen water af te leiden van de IJzer, via het Lokanaal, naar de veronderstelde nieuwe afvoerkokers. Het is een zelf opgestelde strategie, zonder voorafgaandelijk overleg met waterbeheerders. Mogelijks zijn sommige zaken niet haalbaar, of zijn er efficiëntere manieren om de kokers in te zetten. Dat soort zaken is hier niet uitgebreid onderzocht. De belangrijkste doelstelling van deze onderzoeksvraag en voorgestelde aanpak is te onderzoeken of er een mogelijkheid is. Het is dus puur een eerste en verkennende analyse.

De resultaten van de hierboven beschreven simulatie zijn getoond in Figuur 55. Voor vier locaties op het traject van Fintele naar Adinkerke zijn de waterpeilen uit de nacalculatie en uit deze nieuwe simulatie getoond. In de vier grafieken kunnen de volgende zaken vastgesteld worden:

- In de nieuwe simulatie zal het waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne meer gaan fluctueren tussen het peil waarop de kokers in werking treden en het peil waarop de aanvoer in Veurne stopt. Het alarmpeil wordt net niet overschreden.
- Afwaarts van de sluis in Veurne, d.i. in het pand Veurne-Nieuwpoort, zal het waterpeil meestal lager liggen dan tijdens de nacalculatie. Enkel aan het begin van de hoogwaterperiode (omstreeks 07/11/2023) zullen de waterpeilen hoger liggen. Dit blijft echter lager of gelijk aan het maximale peil uit de nacalculatie.
- Op het Lokanaal, ter hoogte van Fintele, zal het waterpeil sneller op een hoger niveau komen te liggen. Dit is het gevolg van het aangepaste regelpeil en hoeft niet noodzakelijk een probleem te zijn.
- Op de IJzer leiden de aanpassingen tot een daling van 3 à 5 cm van het waterpeil tijdens de volledige hoogwaterperiode. Dit is een positieve zaak, maar desondanks dient opgemerkt te worden dat het een relatief beperkte daling is, in vergelijking met de benodigde maatregelen voor dit scenario. De winst is vermoedelijk ook grotendeels te wijten aan het aangepaste regelpeil van de schuiven in Fintele en minder aan de nieuwe kokers in Adinkerke.



Figuur 55. Vergelijkingen van gesimuleerde waterpeilen op vier locaties langs het traject Fintele – Adinkerke voor twee simulaties: nacalculatie (groen) en simulatie met bijkomende afvoer in Adinkerke (geel).

4.5.3 Extra pompcapaciteit in Veurne

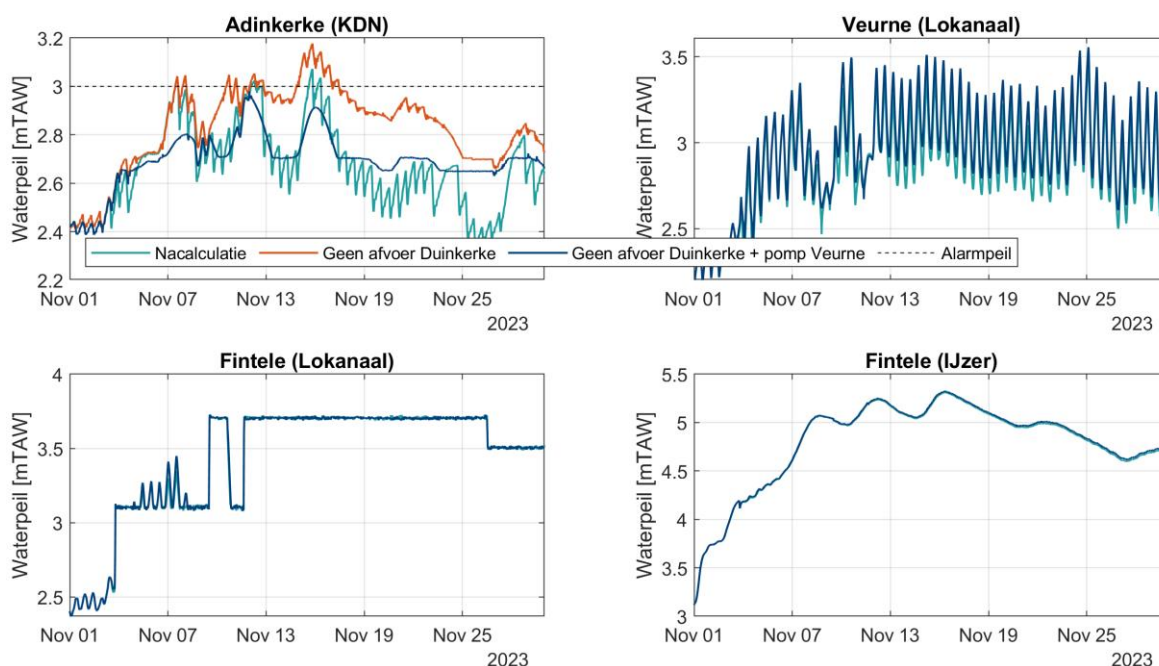
De realisatie van de hierboven veronderstelde kokers door de duinengordel is omwille van verschillende redenen niet evident. Daarom wordt in deze sectie gekeken naar een andere manier om meer water van het pand Duinkerke – Veurne af te voeren. Hier wordt gekeken naar een stijging van de pompcapaciteit aan de Nieuwpoortsluis in Veurne. Tijdens de hoogwaterperiode van nov/2023 was op deze locatie een capaciteit van ca. 2 m³/s beschikbaar. Hier wordt onderzocht wat de meerwaarde is van een bijkomende capaciteit van 2.5 m³/s, dus 4.5 m³/s in totaal.

4.5.3.1 Geen afvoer in Duinkerke

In een eerste variant wordt een situatie beschouwd waarin er in Duinkerke geen afvoer mogelijk is en al het water dus via Veurne naar Nieuwpoort moet gestuurd worden. Via deze situatie kan de pompcapaciteit in Veurne vergeleken worden met de afvoercapaciteit in Duinkerke tijdens de nacalculatie. Bij het uitvoeren van de simulaties in het kader van deze maatregel werden de volgende aspecten opgenomen in het hydraulische model:

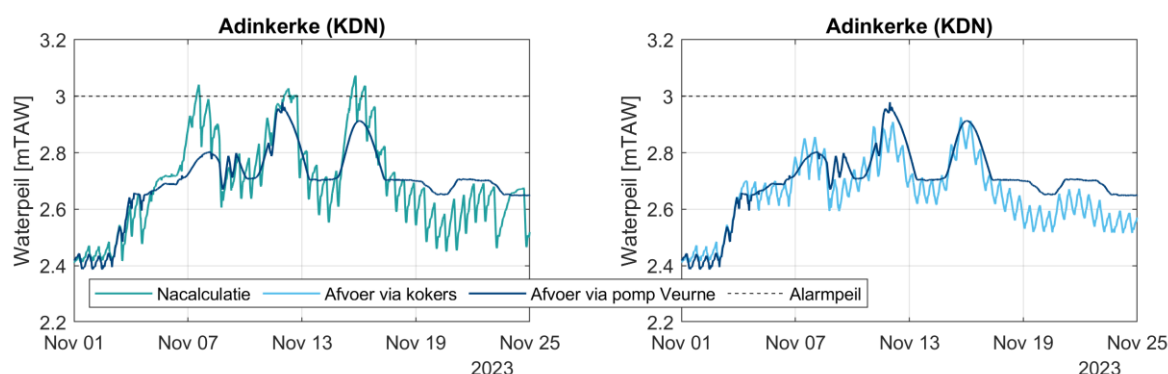
- Wanneer het waterpeil in het pand Veurne-Nieuwpoort lager is dan het peil in het pand Duinkerke-Veurne is er gravitaire afvoer mogelijk via de Nieuwpoortsluis in Veurne. Wanneer dit mogelijk is, worden de pompen niet ingeschakeld.
- In de huidige toestand zijn twee pompen met een capaciteit van elk 1 m³/s beschikbaar. Deze pompen werken enkel wanneer er geen gravitaire afvoer door de Nieuwpoortsluis mogelijk is. De eerste pomp slaat aan wanneer een peil van 2.65 mTAW overschreden wordt. De tweede pomp start bij 2.70 mTAW.
- In de veronderstelde nieuwe toestand zal de huidige capaciteit (2 m³/s) ingezet worden vanaf een peil van 2.65 mTAW. De bijkomende capaciteit (2.5 m³/s) wordt ingezet vanaf een peil van 2.70 mTAW. Merk op dat andere combinaties en drempelpeilen uiteraard ook mogelijk zijn.
- In de veronderstelde nieuwe toestand wordt geen water afgevoerd in Duinkerke. Op die manier kan nagegaan worden of de pompcapaciteit van 2.5 m³/s voldoende is om een waterbeheersing zonder afvoer in Frankrijk te realiseren.
- Aan de aansturing van het Lokanaal wordt niets gewijzigd. Zowel de aanvoer vanuit de IJzer (via schuiven in Fintele) als de afvoer naar zee (in Nieuwpoort) volgen de sturingsregels uit de nacalculatie.

Figuur 56 toont de gesimuleerde waterpeilen op een aantal locaties langs het Lokanaal en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Voor het pand Duinkerke-Veurne (ter hoogte van de meetpost in Adinkerke) is ook de simulatie zonder afvoer in Duinkerke en zonder bijkomende afvoermogelijkheid getoond. Op basis van de grafieken kan geconcludeerd worden dat **het dankzij de extra pompcapaciteit in Veurne mogelijk is om de waterbeheersing van het pand Duinkerke-Veurne te realiseren zonder water in Frankrijk te moeten afvoeren**. Het maximale waterpeil in deze simulatie blijft nl. onder het alarmpeil en ligt daarbij ca. 10 cm lager dan het maximale peil dat bekomen werd in de nacalculatie. Doordat er geen water afgevoerd wordt via de Vannes de Furnes in Duinkerke moet al het water afgevoerd worden via Nieuwpoort. Dit **betekent een hogere belasting voor het Lokanaal en het pand Veurne-Nieuwpoort, wat zich vertaalt in een stijging van de waterpeilen**. Afhankelijk van de locatie en het tijdstip in de simulatie kan dit gaan om een stijging van 10 à 15 cm. De hogere belasting op het Lokanaal zorgt ook voor een beperkte stremming van de afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal. Dit leidt op zijn beurt tot een beperkte stijging van de waterpeilen op de IJzer (ca. 1 à 2 cm).



Figuur 56. Vergelijkingen van gesimuleerde waterpeilen op vier locaties langs Lokanaal en Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort: nacalculatie nov/2023 (groen), zonder afvoer in Duinkerke (rood) en met bijkomende pompcapaciteit in Veurne (donkerblauw).

In Figuur 57 wordt een vergelijking gemaakt van de gesimuleerde waterpeilen op het pand Duinkerke-Veurne. Enerzijds tussen de nacalculatie en de simulatie met extra pompcapaciteit in Veurne (zelfde als in Figuur 56) en anderzijds tussen de simulatie met de kokers uit § 4.5.2.1 en de simulatie met extra pompcapaciteit in Veurne. Uit die laatste blijkt dat de impact van extra pompcapaciteit vergelijkbaar is met de impact van twee cirkelvormige kokers met diameter 2 m. Er zijn wel wat verschillen tussen de gesimuleerde waterpeilen, maar deze zijn te wijten aan verschillen in aansturing tussen beide. De afvoer via de kokers kan enkel bij laagwater, terwijl de afvoer via de pompen meer constant is. Op hoofdlijnen zijn de tijdreeksen echter gelijkaardig. Die overeenkomst is niet echt een verrassing, aangezien de capaciteit van de kokers en de extra pompen min of meer op dezelfde manier gedimensioneerd werd. Namelijk zodanig dat een gelijkaardige capaciteit als in Duinkerke (ca. 100.000 m³ per getijcyclus) behaald kan worden.



Figuur 57. Vergelijking gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van meetpost in Adinkerke: nacalculatie (groen), simulatie met afvoer via kokers (lichtblauw) en simulatie met afvoer via extra pomp in Veurne (donkerblauw)

4.5.3.2 Gecombineerde inzet

Net als bij de kokers onder de duinengordel kan ook voor de extra pompcapaciteit in Veurne gekeken worden naar een gecombineerde inzet met de afvoer in Duinkerke. De meerwaarde van de extra pompcapaciteit zit nl. niet alleen in het overnemen van de afvoercapaciteit in Duinkerke. Het laat ook toe

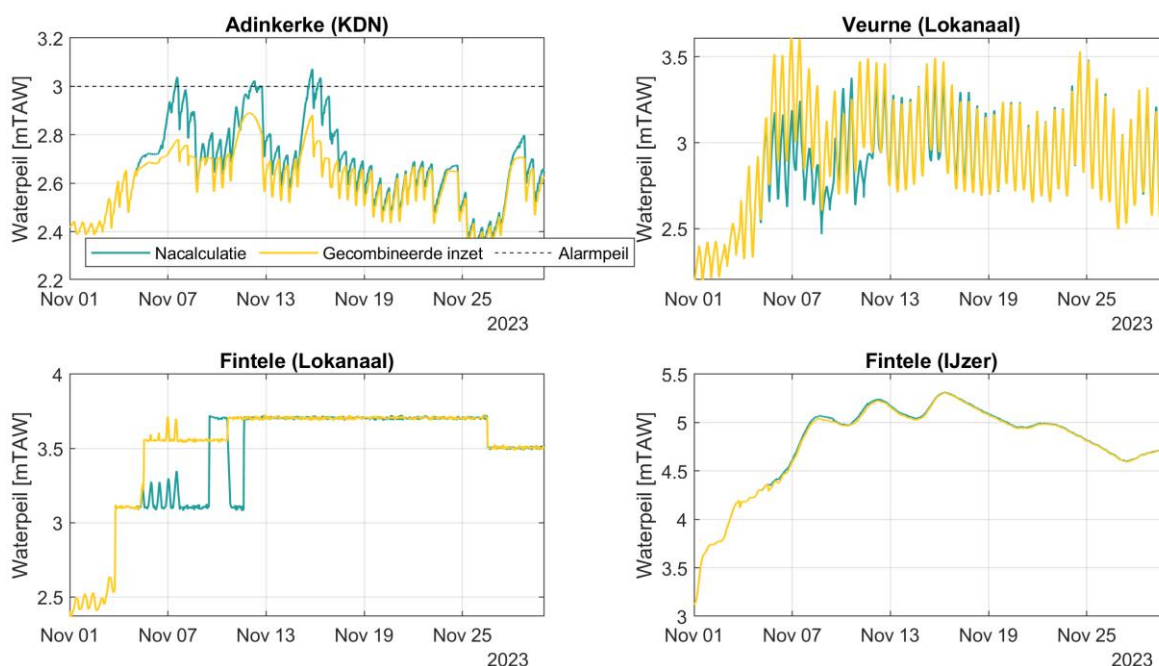
om meer water af te voeren in Veurne wanneer er geen gravitaire afvoermogelijkheid is. Tijdens de eerste dagen van de hoogwaterperiode van november 2023 (4 tot 9 november) werd het Lokanaal niet aan volle capaciteit benut. Dit met de bedoeling om in Veurne een voldoende laag peil te realiseren zodat er nog gravitair kon afgevoerd worden via de Nieuwpoortsluis in Veurne. Dankzij het verhogen van de pompcapaciteit in Veurne is dit mogelijks niet meer nodig en zou er meer water vanuit de IJzer via het Lokanaal kunnen afgevoerd worden. Dat wordt in deze sectie verder onderzocht.

Ten opzichte van de simulatie in de vorige sectie werden een aantal wijzigingen doorgevoerd in het hydraulische model:

- De afvoer in Duinkerke, via de Vannes de Furnes, is opnieuw volledig beschikbaar. Hiervoor werd, net zoals in de nacalculatie, gebruik gemaakt van de tijdreeks van opgemeten openingen.
- De afvoer vanuit de IJzer naar het Lokanaal werd sneller naar een hoger niveau gebracht. Hierbij werd dezelfde strategie gevolgd als in § 4.5.2.3 door het aanpassen van het afwaartse regelpeil (zie ook grafiek linksonder in Figuur 58).

De resultaten van de simulatie met afvoer in Duinkerke en de extra pompcapaciteit in Veurne worden in Figuur 58 vergeleken met de resultaten van de nacalculatie. In de vier grafieken kunnen de volgende zaken vastgesteld worden:

- **Een verdere daling van het maximale waterpeil in het pand Duinkerke-Veurne.** Ten opzichte van de nacalculatie is het maximale peil gedaald met 18 cm. Bij gecombineerde inzet zal de extra pompcapaciteit voornamelijk ingezet worden op de momenten dat er in Duinkerke geen afvoer mogelijk is. Op andere momenten zal de extra capaciteit niet ingezet worden omdat het waterpeil onder het aanslagpeil gehouden kan worden.
- Afwaarts van de Nieuwpoortsluis in Veurne is in de eerste dagen van de hoogwaterperiode een duidelijke stijging van de waterpeilen te zien. Dit is het gevolg van de hogere belasting van het Lokanaal, dankzij de gestegen afvoer vanuit de IJzer via het Lokanaal en de extra pompcapaciteit in Veurne. Deze stijging van het peil kan tot 40 cm bedragen, waardoor een hoger maximaal peil dan in de nacalculatie bekomen wordt.
- Een daling van de waterpeilen op de IJzer, net opwaarts van Fintele. Deze daling is het grootst (ca. 3 à 4 cm) tijdens de eerste afvoergolf van de hoogwaterperiode. Op het moment van het maximale waterpeil, in de derde afvoergolf, is de daling van het waterpeil kleiner. Die bedraagt nu nog slechts 1.5 cm. Dit verschil tussen de afvoergolven is waarschijnlijk het gevolg van de aanpassingen aan het afwaartse regelpeil van de schuiven in Fintele. Deze aanpassingen zijn het grootst aan het begin van de hoogwaterperiode (rond 7 november). Het ligt dan ook in de lijn van de verwachtingen dat de verschillen hier het grootst zijn.



Figuur 58. Vergelijkingen van gesimuleerde waterpeilen op vier locaties langs het traject Fintele – Adinkerke voor twee simulaties: nacalculatie (groen) en simulatie met afvoer in Duinkerke en extra pompcapaciteit in Veurne (geel). De resultaten in Figuur 58 geven aan **dat een gecombineerde inzet van de schuiven in Duinkerke en de extra pompcapaciteit in Veurne kan leiden tot minder nadelige situaties voor zowel het pand Duinkerke-Veurne als de IJzer**. Op beide waterlopen wordt een daling van de maximale waterpeilen gesimuleerd. Voor het pand Duinkerke-Veurne is dit te danken aan de extra afvoercapaciteit. Voor de IJzer is vooral de snellere zwaardere belasting van het Lokanaal belangrijk. Dankzij de extra pompcapaciteit in Veurne is dit sneller mogelijk, aangezien er niet langer een voldoende laag peil moet gerealiseerd worden in het kader van de gravitaire afvoer langs de Nieuwpoortsluis.

Bovenstaande analyse is een eerste verkenning naar de mogelijkheid van een gecombineerde inzet van de schuiven in Duinkerke, extra pompcapaciteit in Veurne en een grotere afvoer langs het Lokanaal. Het is opnieuw van belang om op te merken dat om een zelf opgestelde strategie gaat, die vooral als eerste verkenning dient. Mogelijks kunnen andere combinaties van bijvoorbeeld regelpelen tot een andere uitkomst komen. Dit werd hier niet verder onderzocht.

4.5.4 Conclusies

In deze vierde bouwsteen werd de waterafvoer van het pand Duinkerke-Veurne bestudeerd. Hierbij werd eerst vastgesteld dat de inzet van de Vannes de Furnes belangrijk was in de waterafvoer: per lozing werd ongeveer 100 000 m³ water naar zee afgevoerd. Moesten deze schuiven niet beschikbaar zijn geweest ten tijde van de hoogwaterperiode november 2023 dan zou dit geleid hebben tot een toename van de maximale waterpeilen op het pand Duinkerke-Veurne tot bijna 3.20 mTAW. Dit is 20 cm hoger dan het alarmpeil. Dit is echter wel in de veronderstelling dat er elders geen mitigerende maatregelen zouden zijn genomen om dit peil naar beneden te krijgen. Een verdere samenwerking met Frankrijk, in het kader van de grensoverschrijdende waterlopen, blijft dus belangrijk.

Vervolgens werden twee mogelijkheden om de afvoer van het pand Duinkerke-Veurne te verbeteren onderzocht. Als eerste werd gekeken naar een bijkomende afvoerweg vanuit het kanaal naar zee. Deze bijkomende afvoerweg werd geconceptualiseerd als een koker door of onder de duinengordel nabij De Panne, maar zou in theorie ook op andere locaties langs het pand Duinkerke-Veurne gerealiseerd kunnen worden. Voor deze afvoerweg werd berekend wat de afmetingen zouden moeten zijn. Hierbij werd verondersteld dat de Vannes de Furnes niet beschikbaar zijn en het water via een andere weg naar zee

gestuurd zou moeten worden. Om een even grote afvoer als in Duinkerke te bekomen zouden twee kokers van twee meter diameter nodig zijn. De afvoercapaciteit van deze kokers zal echter dalen omwille van de zeespiegelstijging. Wil deze maatregel efficiënt blijven na 2050, dan vereist dit dat de kokers uitgerust worden met een pompstation aan zeezijde.

Daarnaast werd ook nog onderzocht wat de meerwaarde van de kokers is als ze samen met de Vannes de Furnes ingezet werden. Dit bleek relatief beperkt te zijn indien de kokers enkel gravitair water kunnen afvoeren. Finaal werd ook onderzocht of er vanuit de IJzer via het Lokanaal water kan aangevoerd worden naar de kokers en vervolgens naar zee om zo de IJzer verder te ontlasten. Uit de resultaten blijkt dat een daling van ca. 3 cm van de peilen op de IJzer kan bekomen worden. De daling van de waterpeilen op de IJzer lijkt ook vooral het gevolg te zijn van een hoger maximaal peil op het Lokanaal en niet noodzakelijk van de extra kokers.

Als tweede mogelijkheid om de afvoer van het pand Duinkerke-Veurne te verhogen werd een bijkomende pompcapaciteit aan de Nieuwpoortsluis in Veurne onderzocht. Hierbij werd een capaciteit van 2.5 m³/s verondersteld, wat voldoende is om per getijcyclus ongeveer 100.000 m³ water te verplaatsen. In eerste instantie werd onderzocht of de extra pompcapaciteit voldoende is om de waterbeheersing van het pand Duinkerke-Veurne te verwezenlijken indien er in Duinkerke geen afvoer beschikbaar is. Dit blijkt het geval te zijn: dankzij het inzetten van de extra pompcapaciteit kan een daling van het maximale waterpeil (ten opzichte van de nacalculatie) bekomen worden. Ook wanneer er niets afgevoerd wordt via Duinkerke. Dit gaat wel ten koste van een hogere belasting van het pand Duinkerke-Veurne en het Lokanaal. Dit laatste leidt ook tot een beperkte stremming van de afvoer van de IJzer via het Lokanaal en een beperkte stijging van de waterpeilen op de IJzer.

Tot slot werd een variant bekeken waarin zowel de afvoercapaciteit in Duinkerke en de extra pompcapaciteit in Veurne beschikbaar zijn en waarin meer water vanuit de IJzer via het Lokanaal afgevoerd wordt. Dit laatste is mogelijk dankzij de extra pompcapaciteit in Veurne waar de noodzaak voor gravitaire afvoer kleiner wordt. In deze simulatie werd voor zowel het pand Duinkerke-Veurne als de IJzer ter hoogte van Fintele een daling van de waterpeilen bekomen. Voor het Lokanaal betekent dit echter opnieuw een grotere belasting en moet nagekeken worden of dit aanvaardbaar is.

Concluderend kan gesteld worden dat het realiseren van een nieuwe afvoerweg voor het pand Duinkerke-Veurne vooral interessant is voor het pand zelf en de waterlopen (o.a. Langeleed) in de directe omgeving ervan. Het is vooral in dit pand dat de grootste dalingen van het waterpeil gerealiseerd worden. De onderzochte maatregelen laten in tweede instantie ook toe om meer water vanuit de IJzer af te voeren via het Lokanaal. De maatregel met extra pompcapaciteit in Veurne lijkt hierbij de meest interessante te zijn. De impact van deze maatregelen op de IJzer blijft echter beperkt.

4.6 Bouwsteen 5: Ruimte voor water

De maatregelen in de vorige vier bouwstenen keken voornamelijk naar het sneller of langer afvoeren van water richting de zee. Deze vijfde bouwsteen focust zich op een andere strategie in waterbeheersing, nl. het tijdelijk bufferen van water om het vervolgens weer gecontroleerd los te laten. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van het principe piekbergingszone zoals dat onlangs werd gerealiseerd in Nederland (piekbergingszone Haarlemmermeer in Hoogheemraadschap van Rijnland).

4.6.1 Piekbergingszone

Een piekbergingszone wordt omschreven als een omdijkt stuk polder zonder bebouwing dat tijdens hoogwaterperiodes onder water kan gezet worden om de waterloop en gebieden errond tijdelijk te ontlasten. Het is dus een tijdelijke bergingslocatie voor water vanuit de IJzer. **De piekbergingszone wordt ontworpen om enkel in uitzonderlijke condities aangesproken en gevuld te worden, zodat er nog sprake kan zijn van een ander landgebruik in jaren waarin de zone niet ingezet wordt.**

Piekberging heeft als doel om op het moment van de piek zoveel mogelijk water te bergen en op die manier de piek zoveel mogelijk af te toppen. Het efficiënt aanspreken van het bergingsvolume of het gepast vullen van de zone is daarbij cruciaal. Wanneer de piekbergingszone te vroeg gevuld wordt, zal er sprake zijn van een frequente vulling van de zone, wat niet gewenst is in dit concept. Tegelijk bestaat de kans dat de zone al volledig gevuld is op het moment dat de piek optreedt en geen bijdrage meer kan leveren aan het verlagen van de piek. Omgekeerd zal een te late vulling van de zone kunnen leiden tot een onvolledige vulling, waardoor niet het volledige beschikbare volume benut wordt en de daling van de piek kleiner is dan wat maximaal haalbaar is. In essentie wordt een zo laat mogelijke (d.i. zo dicht mogelijk bij het piekmoment) en een zo snel mogelijke (d.i. met een zo groot mogelijk debiet) vulling geambieerd. Na een aantal iteraties werd de piekbergingszone als volgt opgenomen in het model:

- De piekbergingszone wordt voorgesteld door middel van een eenvoudig bergingselement. Als mogelijke locatie voor de piekbergingszone werd gekeken naar de linkeroever van de IJzer, net afwaarts van Fintele. Een verdere concrete uitwerking van de locatie en mogelijke inplanting op het terrein werd echter nog niet beschouwd. Als bodempeil kreeg dit bergingselement het gemiddelde maaiveldniveau binnen het geselecteerde gebied en door met de oppervlakte te spelen kon een bepaald volume gerealiseerd worden.
- Om een voldoende snelle vulling te realiseren dient in de bestaande dijk op linkeroever een voldoende brede schuifconstructie gebouwd te worden. In het hydraulische model werden vijf schuiven van 2 m breed voorzien. Samen dus een totale breedte van 10 m.
- De aansturing van deze schuiven gebeurt in functie van het waterpeil nabij de winterdijk. Wanneer een peil van 4.9 mTAW wordt overschreden, zal begonnen worden met de vulling van de piekbergingszone. Dit is dus relatief dicht bij de overstromingsdrempel van 5 mTAW.

Het hier uitgevoerde onderzoek had in eerste instantie als doel om in te schatten hoe groot een dergelijke piekbergingszone zou moeten zijn om een overstroming van de winterdijk aan de Blankaart te voorkomen. Het is dus eerder een inschattende berekening die kan helpen bij het opmaken van de lange termijnvisie en nog geen concrete ontwerpberekening. Vandaar ook de keuze om nog geen rekening te houden met concrete grenzen voor de piekbergingszone.

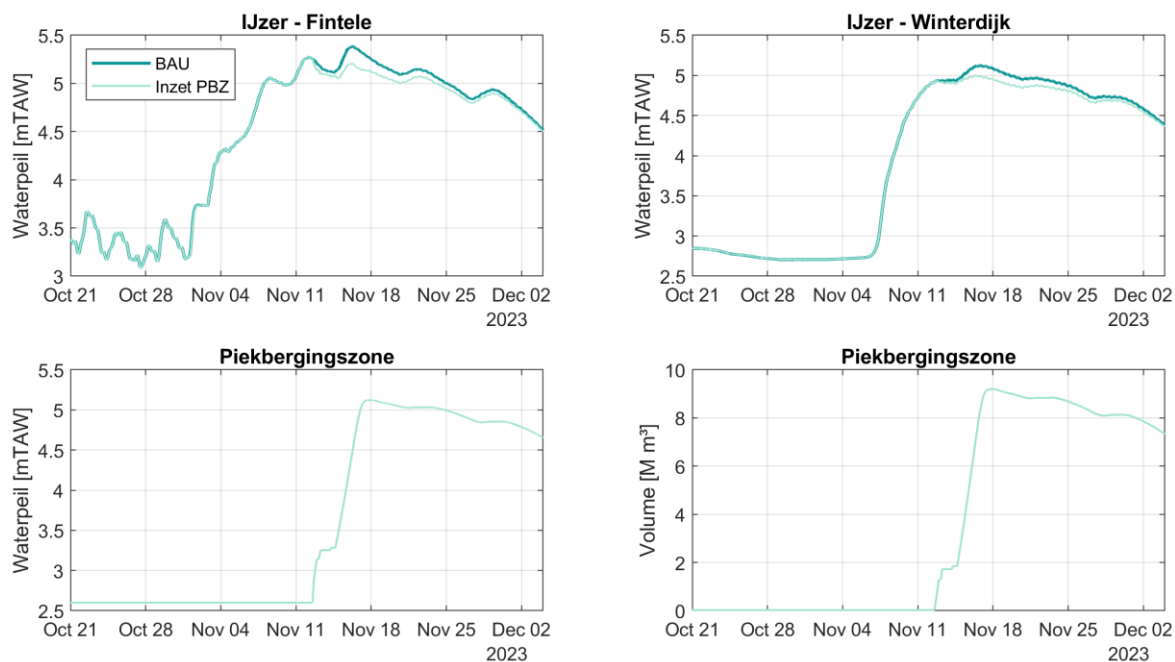
Het berekenen van het benodigde volume voor de piekbergingszone gebeurde op een gelijkaardige manier als bij de verbreding van de IJzer (zie § 4.3.1). Voor de geselecteerde scenario's met een overstroming van de winterdijk werden iteratief een aantal simulaties met een steeds groter volume uitgevoerd. Wanneer het waterpeil aan de winterdijk lager lag dan de overloophoogte (d.i. 5 mTAW) werden de iteraties gestopt en werd het volume in de piekbergingszone afgelezen uit de modelresultaten. Dit volume werd beschouwd als het benodigde volume voor dat scenario. De resultaten hiervan zijn samengevat in Tabel 10. **Voor drie van de vier beschouwde scenario's werden benodigde volumes van 9 à 10 miljoen m³ bekomen.** In het resterende scenario (nov/2023 met zeespiegelstijging in 2050) werd een kleiner volume bekomen. Er wordt hierbij nogmaals opgemerkt dat de inzet van de piekbergingszone enkel nodig zal zijn in uitzonderlijke gevallen. Met name voor gebeurtenissen die bestaan uit twee of meer grote debietspieken na elkaar en waar ook nog de invloeden van klimaatsverandering zijn meegenomen.

Tabel 10. Resultaten iteratieve berekening benodigde volume piekbergingszone.

Scenario	Benodigde volume [M m ³]	Maximaal waterpeil winterdijk [mTAW]
Dec/'93 (2100, hCC + ZSS)	9.5	4.99
Nov/'23 (2050, ZSS)	4.0	4.98
Nov/'23 (2050, hCC + ZSS)	9.0	4.98
Nov/'23 (2100, ZSS)	9.2	4.99

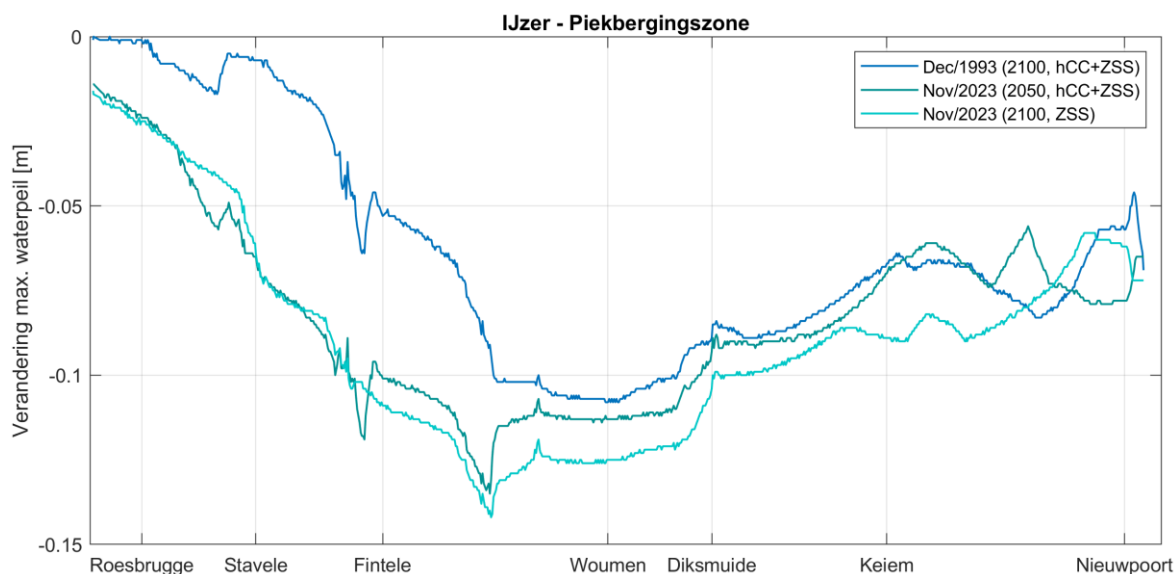
Figuur 59 schetst een beeld van de werking van de piekbergingszone in het hydraulische model ten tijde van de hoogwaterperiode van november 2023 en met een zeespiegelstijging van 66 cm (schatting 2100). In de huidige toestand wordt ter hoogte van de winterdijk een maximaal waterpeil van ongeveer 5.10 mTAW

voorspeld. Wanneer het waterpeil aan de winterdijk een waarde van 4.90 mTAW overschrijdt, zal de vulling van de piekbergingszone beginnen. De twee onderste grafieken geven weer hoe dit verloopt. Merk op dat deze vulling meerdere dagen zal duren, omdat het om zeer grote volumes gaat. De gemiddelde waterdiepte in de piekbergingszone zal ongeveer 2.5 m zijn. Rekening houdende met een volume van ca. 9 à 10 miljoen m³ zou dit betekenen dat een oppervlakte van ca. 400 ha nodig is. Ter hoogte van Fintele is het opvallend dat de vulling van de piekbergingszone begint in de dalende flank na de tweede debietspiek. Dit lijkt wat contra intuïtief, maar is het gevolg van de sturing op basis van het waterpeil aan de winterdijk. Dankzij het inzetten van de piekbergingszone kan de derde piek in Fintele met net geen 20 cm verlaagd worden. Het maximale waterpeil verschuift dan naar de tweede piek, waardoor de daling van het maximale waterpeil maar ongeveer 10 cm bedraagt.



Figuur 59. Simulatieresultaten voor hoogwaterperiode nov/2023 (inclusief 66 cm zeespiegelstijging) nabij de piekbergingszone: huidige toestand (donkergroen) en met werking piekbergingszone (lichtgroen).

Figuur 60 toont de impact van het inzetten van de piekbergingszone op de maximale waterpeilen langs de IJzer. De daling van het maximale waterpeil is getoond voor de drie grootste scenario's en het volume opgeslagen in de piekbergingszone is daarbij telkens van dezelfde grootteorde (zie Tabel 10). De grafieken geven aan dat **het inzetten van de piekbergingszone kan leiden tot een daling van de maximale waterpeilen tot ongeveer 12 cm**. De daling is het grootst in de directe omgeving van de winterdijk, wat te danken is aan de sturingsregels in het model. De impact daalt naar opwaarts en is in Roesbrugge bijna volledig verdwenen. De maximale waterpeilen dalen ook afwaarts van de Blankaart. Opvallend is dat de impact niet volledig naar nul daalt, maar dat over de volledige lengte een daling van de maximale peilen voorspeld wordt.



Figuur 60. Verandering maximale waterpeilen op IJzer bij inzet van een piekbergingszone t.h.v. Fintele.

De leegloop van de piekbergingszone werd hier niet kwantitatief en in detail onderzocht. Verwacht wordt dat een groot deel van het water via de inlaatconstructie kan terugstromen naar de IJzer en vervolgens via de Ganzepoot naar zee. Het resterende gedeelte zal echter achterblijven in de piekbergingszone en via de waterlopen in de Westkustpolder afgevoerd moeten worden naar zee. In beide gevallen zal dit vermoedelijk leiden tot een verlenging van de hoogwaterperiode. Het is op dit moment echter nog onvoldoende duidelijk hoe groot deze verlenging is en of dat aanvaardbaar is.

Er werd geen aparte analyse meer uitgevoerd om na te gaan hoe deze maatregel reageert bij stijgende zeespiegel. Omwille van de specifieke opzet van deze maatregel, met sturingsregels in functie van het waterpeil ter hoogte van de Blankaart, is het niet eenvoudig om een duidelijke inschatting van de impact van zeespiegelstijging te maken. De uitgevoerde berekeningen om het benodigde volume in te schatten zijn echter wel al gestart met scenario's waarin rekening werd gehouden met klimaatverandering, zodat dit eigenlijk al verwerkt zit in de berekende getallen. Een verdere gedetailleerde analyse lijkt daarom niet echt noodzakelijk.

4.6.2 Conclusies

Deze vijfde bouwsteen onderzocht de inzet van een piekbergingszone. Een dergelijke zone kan ingezet worden om op piekmomenten een grote hoeveelheid water te bergen om zo het piekmoment af te toppen. Een piekbergingszone wordt doelbewust gecreëerd om enkel in uitzonderlijke condities en op het moment net voor de piek gevuld te worden. Op die manier blijft het toch mogelijk om in normale of minder extreme condities een aangepast landgebruik na te streven. In de strijd tegen droogte heeft een piekbergingszone waarschijnlijk weinig meerwaarde.

Het onderzoek had als doel om in te schatten hoe groot de piekbergingszone zou moeten zijn om in de toekomst een overstrooming van de winterdijk te vermijden. De berekeningen gaven dat een volume van 9 à 10 miljoen m³ en een oppervlakte van ca. 400 ha nodig zou zijn tegen het einde van deze eeuw. Hiermee kan een daling van de maximale waterpeilen tot ca. 12 cm bekomen worden. Een dergelijk groot volume zou enkel in zeer uitzonderlijke omstandigheden nodig zijn.

Als locatie voor de piekbergingszone werd hier gekeken naar de linkeroever van de IJzer afwaarts van Fintele. Het dient benadrukt te worden dat het hier om een eerste verkennende analyse ging en dat er geen gedetailleerde uitwerking van de zone is gebeurd.

4.7 Bouwsteen 6: Bovenloop IJzer

In de voorgaande bouwstenen werd gezocht naar maatregelen die de afvoer naar zee vergroten of de tijdelijke berging van water beogen. Al deze maatregelen bevinden zich ter hoogte van Fintele of verder afwaarts. Uit de resultaten bleek dat de impact van de hierboven beschouwde maatregelen op de bovenloop van de IJzer beperkt zijn. Meestal zal de impact van de maatregelen dalen naarmate men verder naar opwaarts kijkt. In Roesbrugge, bijvoorbeeld, is de positieve impact van de maatregelen meestal bijna volledig verdwenen.

In dit onderzoek werden geen afzonderlijke maatregelen om het overstromingsrisico voor de bovenloop van de IJzer te doen dalen beschouwd. Wel kan verwezen worden naar het onderzoek dat werd uitgevoerd in kader van het traject 'Weerbaar Waterlandschap – Bovenloop IJzer' en het daarbij horende rapport (Meert et al., 2025). Daarin werden een aantal onderzoeksvragen met betrekking tot de waterveiligheid op de bovenloop van de IJzer behandeld. De belangrijkste conclusies uit het rapport worden hieronder kort aangehaald:

- Een grootschalige uitrol van bronmaatregelen in het bovenstroomse afstroomgebied kan helpen met het reduceren van piekdebieten en maximale waterpeilen. Het is hierbij echter van belang om op te merken dat deze reductie vooral een meerwaarde heeft op de kleinere, meer opwaarts gelegen waterlopen in het gebied. Daarnaast is het ook zo dat de reductie vooral een impact heeft op gebeurtenissen met een kleine of gemiddelde omvang. Voor zeer extreme en uitzonderlijke gebeurtenissen, zoals beschouwd in dit onderzoek, hebben de bronmaatregelen waarschijnlijk een verwaarloosbare impact. Dit is enerzijds te wijten aan de grote volumes die gepaard gaan met dergelijke extreme events. De bronmaatregelen kunnen deze volumes eenvoudigweg niet opvangen. Anderzijds speelt ook de beperkte dikte van de freatische toplaag van de bodem mee. Door de beperkte dikte kan deze slechts een beperkte hoeveelheid water opslaan. Hierdoor is de bodem relatief snel verzadigd en kan er niet veel meer bijkomend geïnfiltreerd worden. De neerslag die dan nog valt zal dan aanleiding geven tot hoge neerslagafstromingsdebieten. Dit fenomeen ligt ook aan de basis van de hoge debieten die ten tijde van november 2023 geobserveerd werden. Tot slot kan hier ook nog gewezen worden op de verschillen in tijdsdynamiek tussen de opwaartse en afwaartse delen van het IJzerbekken. De kleinschalige bronmaatregelen hebben een inzetijd van meerdere uren tot enkele dagen, kort na de neerslaggebeurtenissen. Dit in tegenstelling tot de hoogwaterperiode langs de IJzer, welke meerdere weken in beslag nam. Ondanks de beperkte impact van bronmaatregelen op extreme hoogwaterperiodes, zoals november 2023, mag hun meerwaarde op het watersysteem zeker niet geminimaliseerd worden. Op jaarbasis bekeken zullen zij grote hoeveelheden neerslag kunnen opvangen en lokaal laten infiltreren. Ook kunnen ze bijdragen aan het beschermen van kwetsbare gebieden in de opwaartse delen van het afstroomgebied. Ze zijn daarom ook opgenomen in het actieplan van Weerbaar Waterlandschap – Bovenloop IJzer en in de Integrale Waterstrategie IJzer en Handzamevallei.
- Gelijkaardig als in bouwsteen 5 (zie § 4.6) werd een inschatting gemaakt van de benodigde buffercapaciteit om in dit geval de dorpskern van Roesbrugge te beschermen. Hierbij werd vereenvoudigd verondersteld dat een buffer gerealiseerd kon worden ter hoogte van de grens met Frankrijk. De veronderstelde buffer vertrok van een gelijkaardig principe als de piekbergingszone. Het buffergebied werd ingeschakeld op het moment van de piek om deze af te toppen. Via een regelbare schuifconstructie werd het doorvoerdebiet gelimiteerd tot een bepaald niveau, zodat het afwaarts geen of slechts beperkte schade zou aanrichten. De berekeningen kwamen uit op een benodigde bijkomende buffering van ca. 1 000 000 m³ om het maximale waterpeil in Roesbrugge onder de alarmdrempel te houden. Het gaat hier over bijkomende buffering, aangezien er in de IJzervallei al reeds water gebufferd wordt. Het is belangrijk om hier toe te voegen dat de uitgevoerde analyse vertrok van andere randvoorwaarden dan dit onderzoek.

4.8 Combineerbaarheid bouwstenen

In de voorgaande secties van dit hoofdstuk werden verschillende maatregelen, om het overstromingsrisico langs de IJzer te reduceren, bestudeerd. Voor alle maatregelen werd besproken hoe en in welke mate ze kunnen bijdragen aan het verlagen van de waterpeilen op de IJzer. Hierbij werd zowel naar het huidige als het toekomstige klimaat gekeken. Uit de analyses bleek dat er verschillende interessante bouwstenen zijn om mee verder te werken richting de opmaak van een meerjarenplanning of doelstelling. Op dit moment is het nog niet mogelijk om één van de onderzochte maatregelen naar voor te schuiven als de oplossing voor de problematiek. Daarvoor zijn nog andere analyses en onderzoeken nodig. Vermoedelijk zal de finale puzzel zich ook niet richten op één maatregel, maar bestaan uit een combinatie van meerdere maatregelen. Het is dus meer een EN-EN-En aanpak, dan een OF-OF-OF aanpak.

Tot nog toe werden de maatregelen één voor één geanalyseerd en besproken. In het kader van bovenstaande redenering lijkt het echter ook aangewezen om na te gaan hoe het systeem reageert wanneer een aantal maatregelen gecombineerd worden. Zal de totale impact van bijvoorbeeld drie maatregelen samen kleiner zijn dan de som van de individuele impacts? Of zullen de maatregelen elkaar nog versterken? Op die vragen wordt in deze sectie een antwoord gezocht.

De analyse werd uitgevoerd voor één scenario, nl. de hoogwaterperiode november 2023 inclusief de schatting voor zeespiegelstijging tegen 2100 (d.i. +66 cm). Er werden maatregelen geselecteerd uit de eerste drie bouwstenen:

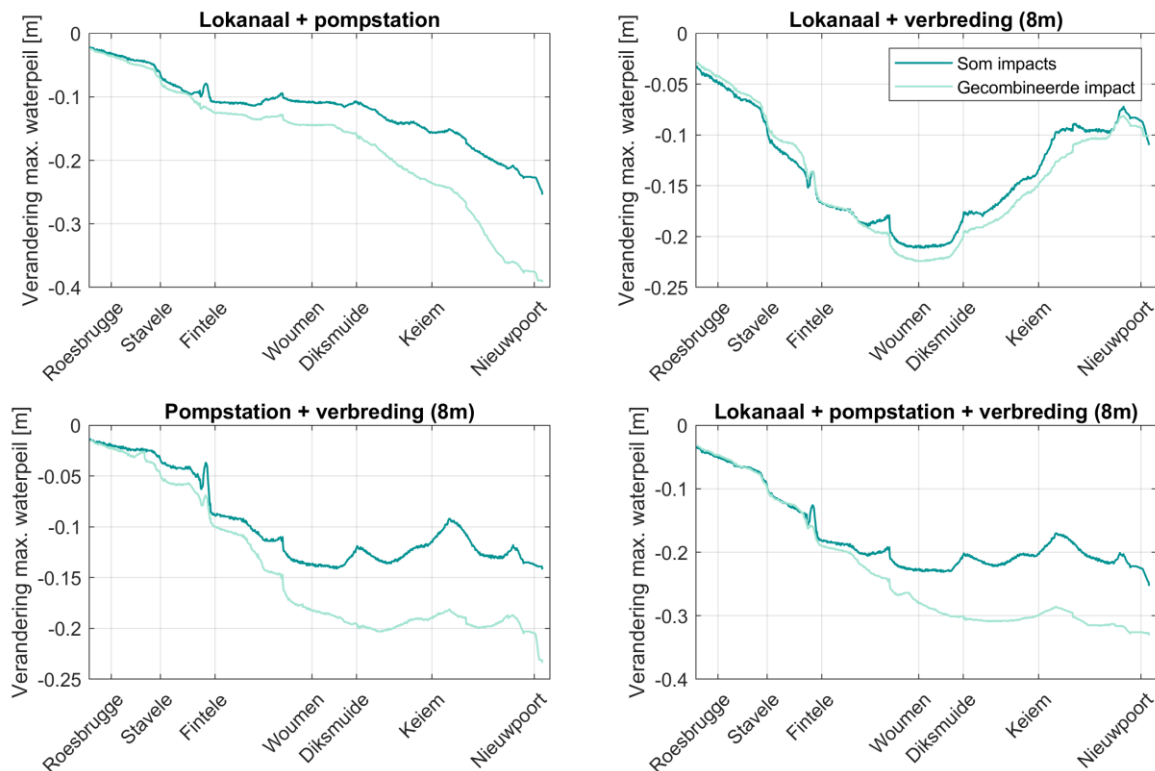
- Bouw van een permanent pompstation aan de Iepersluis met een pompcapaciteit van 20 m³/s (bouwsteen 1). Deze pompen worden ingeschakeld wanneer het waterpeil ter hoogte van Diksmuide hoger is dan 4.20 mTAW en wanneer er geen gravitaire afvoer mogelijk is. Er werd gekozen voor een pompcapaciteit van 20 m³/s om dat de impact hiervan vrij goed overeenkomt met de impact van het inzetten van de stormvloedkering. We veronderstellen dat de conclusies van dit onderzoek hetzelfde zullen zijn voor andere pompcapaciteiten.
- Verbreding van de IJzer afwaarts van Diksmuide met 8 m (bouwsteen 2). De verbreding van 8 m over de volledige diepte was nodig om het overstromen van de winterdijk te vermijden in het hier beschouwde scenario. Opnieuw kan verondersteld worden dat de conclusies van dit onderzoek hetzelfde blijven wanneer andere waarden voor de verbreding gebruikt zouden worden.
- Het vergroten van de afvoer via het Lokanaal (bouwsteen 3). Hier werd geopteerd voor de meest extreme variant waarbij het maximaal toelaatbare peil verhoogd werd tot 4.50 mTAW in Fintele.

De elementen uit bouwstenen 4 en 5 werden niet beschouwd in deze analyse. Enerzijds om het aantal mogelijke combinaties in te perken en anderzijds omwille van de specifieke eigenschappen van deze bouwstenen. In het kader van bouwsteen 4 (bijkomende afvoerweg Kanaal Duinkerke Veurne) werd eerder geargumenteed dat dit vooral interessant is voor de lokale waterhuishouding en minder voor het afvoeren van extra water vanuit de IJzer. Het inrichten van een piekbergingszone (bouwsteen 5) is een meer tijdsafhankelijke maatregel en omvat sturingsregels die kijken naar het waterpeil ter hoogte van Winterdijk. Door het combineren van maatregelen zou het bijvoorbeeld kunnen dat het peil aan der winterdijk al voldoende gezakt is, waardoor de piekbergingszone minder of niet meer hoeft ingezet te worden. Een vergelijking van de gecombineerde en gesommeerde impacts lijkt dan weinig zinvol.

De resultaten van de analyse worden getoond in Figuur 61. Hierin is voor verschillende combinaties telkens de som van de individuele impacts en de impact van de gecombineerde maatregelen getoond. De som van de individuele impacts wordt berekend door voor elke maatregel de daling van het waterpeil t.o.v. de huidige toestand te berekenen en deze vervolgens bij elkaar op te tellen. De impact van de gecombineerde maatregelen wordt berekend als het verschil in waterpeil tussen de simulatie waarin de maatregelen samen doorgerekend zijn en de simulatie van de huidige toestand. Uit de resultaten blijkt dat **de impact van gecombineerde maatregelen minstens gelijk is aan de som van de individuele impacts**. Voor de combinatie waarin de afvoer via het Lokanaal vergroot wordt en een verbreding van de IJzer toegepast wordt, zijn beide

impacts nagenoeg gelijk aan elkaar. In de combinaties waar sprake is van een pompstation aan de Iepersluis zal de gecombineerde impact telkens groter zijn dan de som van de individuele impacts.

De vaststelling dat de impacts van maatregelen cumuleerbaar zijn is goed nieuws voor de verdere uitwerking van een meerjarenplanning. Er wordt hierbij wel nog vermeld dat dit niet noodzakelijk het geval is voor alle beschouwde maatregelen. Zie bijvoorbeeld ook de opmerking met betrekking tot bouwsteen 5 hierboven. Het lijkt aanvaardbaar om impacts op te tellen indien ze uit een andere bouwsteen komen. Impacts optellen binnen eenzelfde bouwsteen, bijvoorbeeld een hoger maximaal peil op het Lokanaal en het plaatsen van pompen aan de Veurnesluis, lijkt op het eerste zicht minder correct. Dit werd echter niet meer verder getest.



Figuur 61. Vergelijking van de som van individuele impacts met de gecombineerde impact van beschouwde maatregelen tijdens de hoogwaterperiode november 2023 (incl. +66 cm zeespiegelstijging).

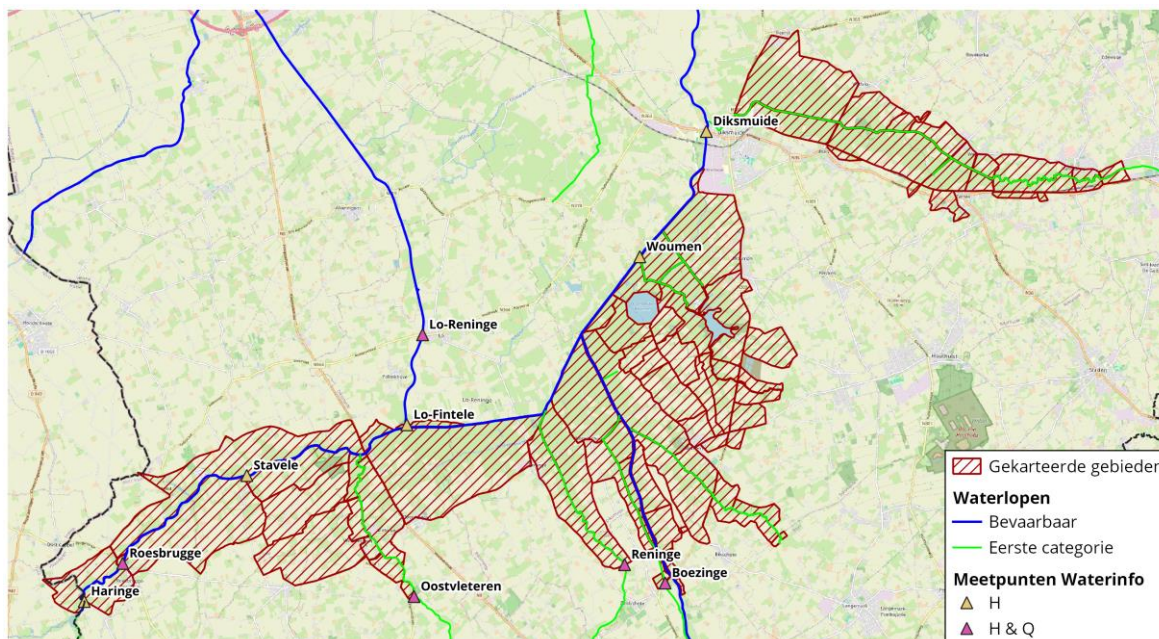
5 Opmaak overstromingskaarten

5.1 Inleiding en aanpak

Voor een groot deel van de simulaties, uitgevoerd voor de analyses in hoofdstuk 4, werden ook overstromingskaarten opgemaakt. De analyses in hoofdstuk 4 beperkten zich meestal tot een analyse van de waterpeilen. De overstromingskaarten kunnen helpen om een meer ruimtelijke interpretatie te krijgen van de gesimuleerde waterpeilen. In een vervolgstap kunnen de kaarten ook gekruist worden met andere geografische gegevens, bijvoorbeeld de locaties van gebouwen, om al een eerste meer concrete inschatting te krijgen van de impacts van een bepaalde maatregel. Dit komt in dit hoofdstuk aan bod.

Het gebied waarvoor de overstromingskaarten opgemaakt werden is getoond in Figuur 62. De kaarten werden niet opgemaakt voor het gehele gemodelleerde gebied, maar enkel voor de natuurlijke overstromingsgebieden langs de IJzer en de Handzamevaart. Gebieden die achter de ingedijkte zones liggen, bijvoorbeeld linkeroever van de IJzer afwaarts Fintele en beide oevers van de IJzer afwaarts van Diksmuide, werden niet opgenomen aangezien deze dijken niet expliciet gemodelleerd zijn in het hydraulische model. Ook voor het gebied van de Westkustpolder werden geen kaarten opgemaakt. Dit gebied is wel opgenomen in het model, maar slechts op een ruwe manier. Voor dit gebied kaarten opmaken zou mogelijks tot te grote foutenmarges kunnen leiden. Bovendien zijn de onderzochte maatregelen vooral gericht op het reduceren van de overstromingsrisico's langs de IJzer. Deze maatregelen hadden geen of slechts een beperkte impact op wat er in de Westkustpolder gebeurt. De kaarten zouden met andere woorden ook niet echt wijzigen wanneer huidige toestand en toestand na uitvoering maatregelen met elkaar vergeleken zouden worden.

De opgemaakte overstromingskaarten, met resolutie van 5 m bij 5 m, vertrokken van het maximaal gesimuleerde waterpeil op elke locatie. Zoals eerder al aangegeven komt dit niet overeen met één bepaald tijdstip in de simulatie, maar geeft het een beeld van de meest nadelige situatie op elke locatie tijdens de gesimuleerde hoogwaterperiode.



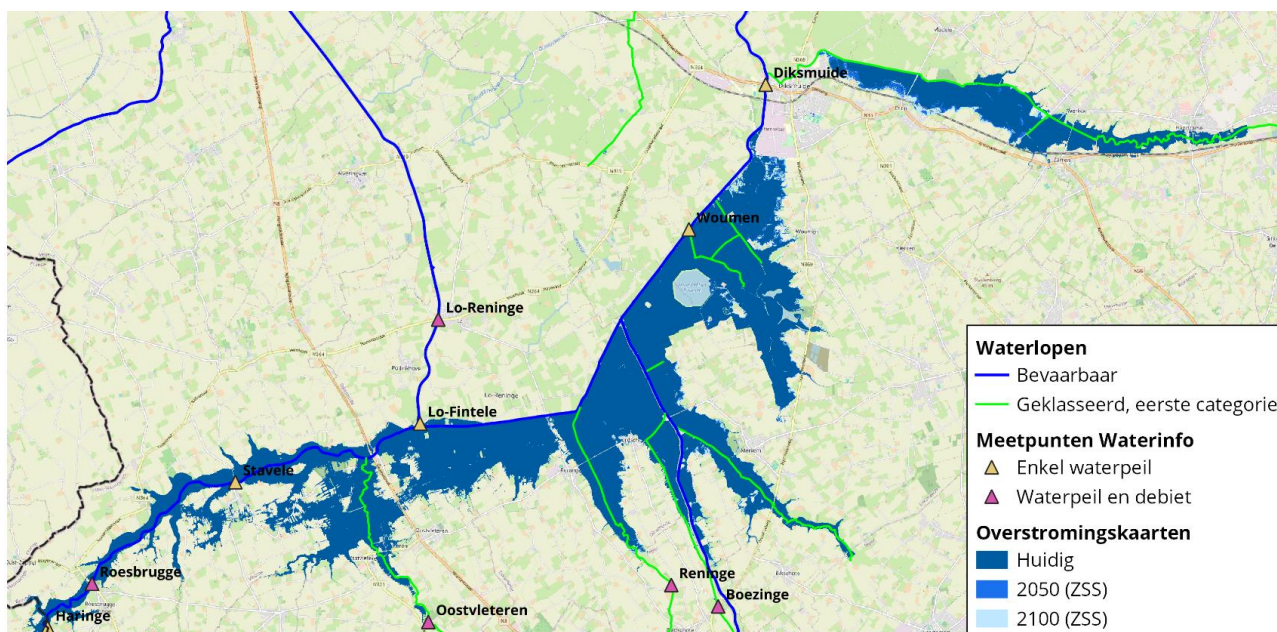
Figuur 62. Overzicht van de gebieden langs IJzer en Handzamevaart waarvoor overstromingskaarten werden opgemaakt (rood gearceerd).

5.2 Impact klimaatverandering

In een eerste analyse wordt getoond hoe de overstromingskaarten wijzigen onder invloed van klimaatverandering. Dit schetst al een eerste beeld van wat te verwachten is en kan vermoedelijk ook helpen bij het interpreteren van de resultaten. Hieronder volgt een beschrijving van de impact van klimaatverandering op de gekarteerde overstromingen. In eerste instantie enkel voor zeespiegelstijging en daarna ook voor de gecombineerde impact van zeespiegelstijging en toename van opwaartse debieten.

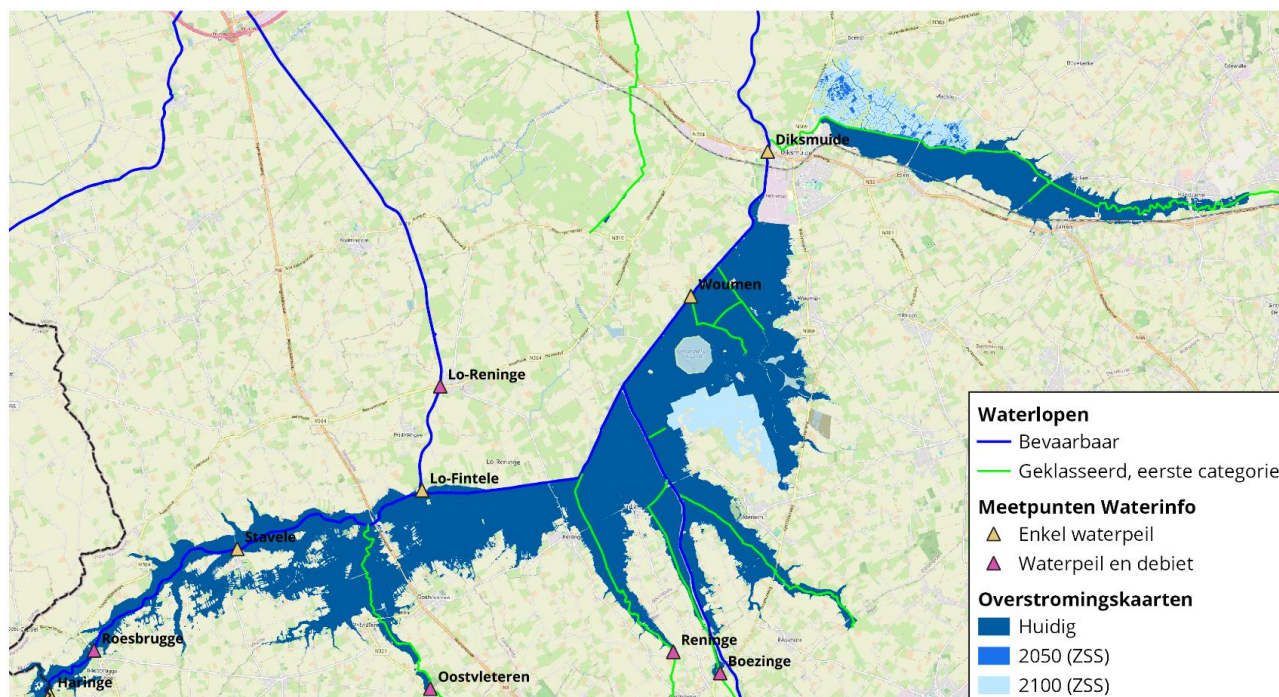
5.2.1 Zeespiegelstijging

Figuur 63 toont overstromingskaarten voor de hoogwaterperiode van december 1993, waarbij zowel de kaart voor de historische periode als twee scenario's met zeespiegelstijging getoond zijn. Eerder werd al aangetoond dat de impact van zeespiegelstijging vooral in het afwaarts gedeelte van de IJzer en Handzamevaart tot een stijging van de waterpeilen zal leiden. Op de bovenloop is veel minder stijging te verwachten. Dit is ook te zien op de kaarten in Figuur 63: de uitbreidingen t.o.v. de historische kaart zijn vooral te vinden in de omgeving van Woumen (IJzer) en Esen (Handzamevaart). De nieuw getroffen gebieden zijn uitbreidingen van de reeds getroffen zones. Er lijken op het eerste gezicht dus geen grote nieuwe gebieden getroffen te worden. Een gelijkaardige conclusie geldt voor de kaarten van de hoogwaterperiodes november 2009 en november 2021.



Figuur 63. Vergelijking overstromingskaarten voor hoogwaterperiode dec/1993 bij stijgende zeespiegel.

Figuur 64 toont een gelijkaardige vergelijking, maar nu voor de hoogwaterperiode van **november 2023 en bij stijgende zeespiegel**. Hierin is wel een duidelijke toename van de getroffen oppervlakte te zien. Het gebied binnen de winterdijk aan de Blankaart en het gebied ten noorden van de Handzamevaart worden in het 2050 (in beperkte mate) en in het 2100 scenario nu wel ingekleurd. Hier is dus duidelijk sprake van een kantelpunt. Zoals eerder aangegeven ligt dit rond de 5 mTAW. Ter hoogte van de winterdijk zal door de hoogteligging van het maaiveld geen verdere overstroming volgen dan wat nu is aangeduid op de kaart. Voor het gebied ten noorden van de Handzamevaart is dit vermoedelijk wel het geval. Een overtopping van de dijk zal daar een impact hebben op het afwaarts gelegen afstroomgebied van de Vladslovaart en de Kreek van Nieuwendamme. Dit is echter onvoldoende opgenomen in het model om hierover betrouwbare uitspraken te doen. In het opwaartse gedeelte van de kaarten is een beperkte toename van het getroffen gebied te zien. Deze toename wordt kleiner naarmate men verder naar opwaarts kijkt. Dit sluit opnieuw aan bij de eerdere vaststellingen.

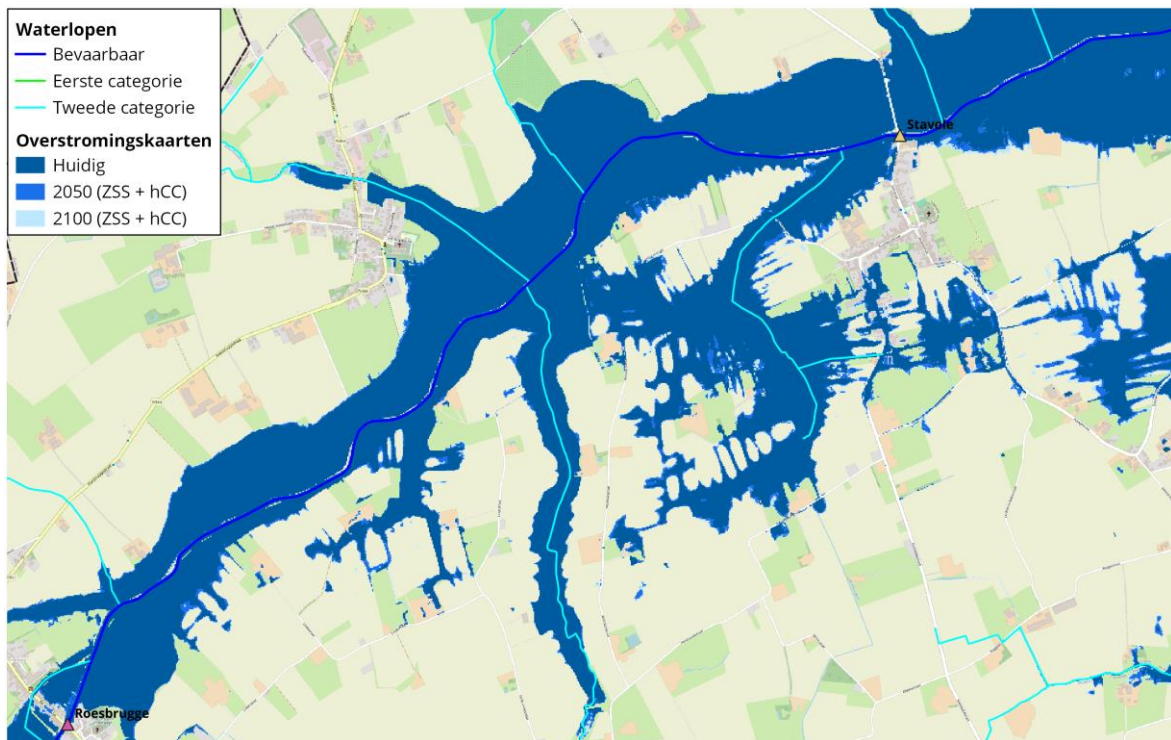


Figuur 64. Vergelijking overstromingskaarten voor hoogwaterperiode nov/2023 bij stijgende zeespiegel.

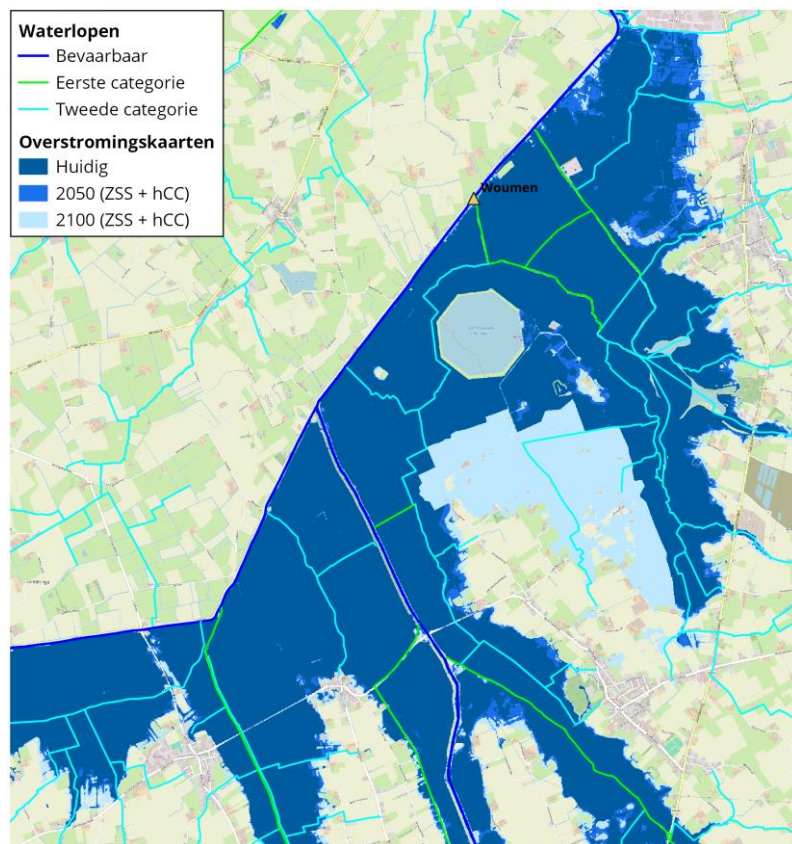
5.2.2 Zeespiegelstijging en toename debieten

In Figuur 65 worden overstromingskaarten vergeleken voor de hoogwaterperiode november 2009 en waarin zowel de impact van zeespiegelstijging en toename van opwaartse debieten verwerkt zijn. Er is hier gekozen voor november 2009 omdat de toename van opwaartse debieten, zowel absoluut als relatief, het grootst is voor gebeurtenissen met kleinere piekdebieten. Tevens is gekozen voor de bovenloop omdat hier de grootste impact van de toegenomen debieten verwacht wordt. De toename van de instromende debieten zorgt voor een uitbreiding van de overstromingskaarten. Het is echter opvallend dat deze uitbreiding eerder beperkt lijkt te zijn. **Ten opzichte van de historische kaart zijn er amper nieuwe getroffen zones.** Ondanks deze beperkte toename van de getroffen gebieden werden in de simulaties wel degelijk hogere waterpeilen gesimuleerd: tot +15 cm in het 2100 scenario. De beperkte toename van de overstroomde oppervlakte is vermoedelijk te wijten aan de relatief beperkte omvang van de vallei op dit punt en de daarbij aansluitende relatief steile winterbedding. **Dankzij deze eigenschappen zal het getroffen gebied dus niet veel veranderen. Daar staat wel tegenover dat de waterdiepte en dus de potentiële schade in de reeds getroffen gebieden wel zal toenemen.**

Figuur 66 toont voor de hoogwaterperiode december 1993 de historische overstromingskaart en de kaarten met de impact van zeespiegelstijging en toename van de opwaartse gebieden. De kaart toont het gebied tussen Noordschote en Diksmuide. Op deze kaart is wel een duidelijk verschil te zien tussen de getoonde scenario's. Dit is geen grote verrassing, aangezien het getoonde gebied de zone is waar de invloeden van zowel zeespiegelstijging als de toename van debieten samen komen. Bij grote aangevoerde volumes en een daling van de afvoercapaciteit zal het water in deze zone gestockeerd worden. In het scenario 2100 is opnieuw sprake van een kantelpunt, wanneer de winterdijk aan de Blankaart overstroomt, wat leidt tot een duidelijke toename van het getroffen gebied.



Figuur 65. Vergelijking overstromingskaarten voor hoogwaterperiode nov/2009 bij stijgende zeespiegel en toename van opwaartse debieten.



Figuur 66. Vergelijking overstromingskaarten voor hoogwaterperiode dec/1993 bij stijgende zeespiegel en toename van opwaartse debieten.

5.3 Getroffen infrastructuur

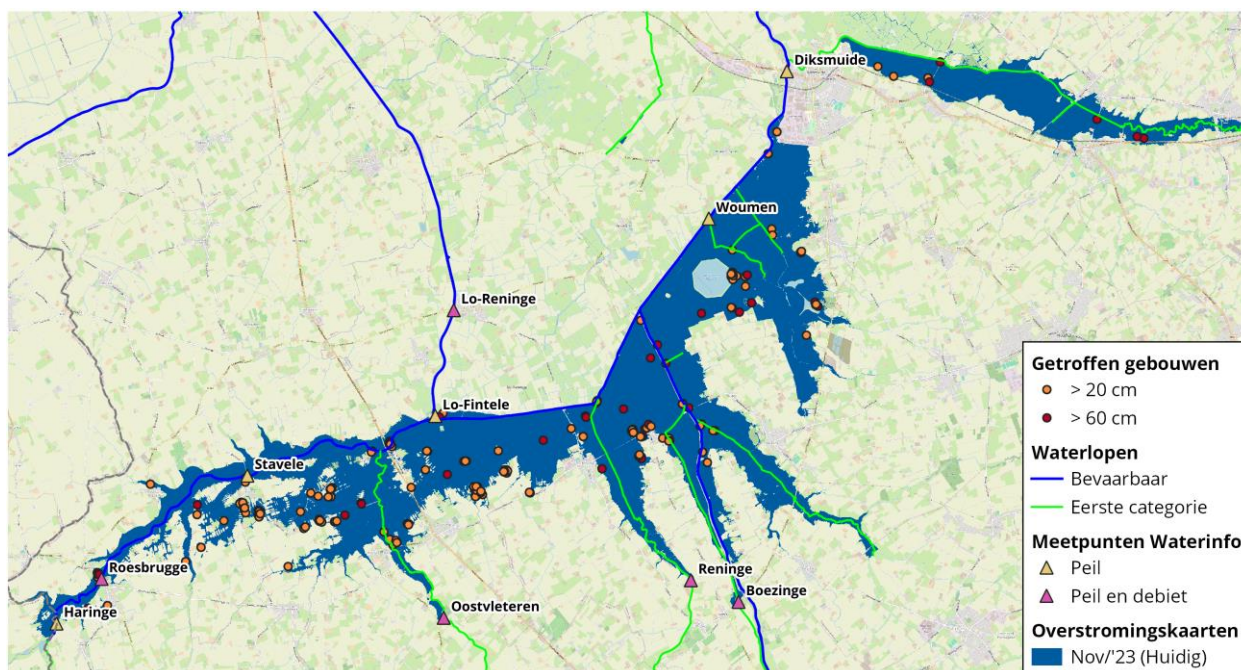
Vertrekkende van de opgemaakte overstromingskaarten werden vervolgens datakruisingen uitgevoerd. Hierbij worden de overstromingskaarten vergeleken met andere geografische databronnen om te bepalen welke infrastructuur, gebouwen, natuurgebieden, ... getroffen zouden kunnen worden. De belangrijkste datakruising die in dit onderzoek werd uitgevoerd is het berekenen van het aantal getroffen gebouwen. Dit werd berekend voor de historische hoogwaterperiodes, voor de scenario's met klimaatverandering en voor de scenario's met maatregelen. Hieronder worden de belangrijkste conclusies uit die analyse besproken.

5.3.1 Getroffen gebouwen

Voor het berekenen van de getroffen gebouwen werd de aanpak gevolgd die beschreven is in de studie *Analyse gebouwen in overstromingsgevoelig gebied met de focus op ontwikkelingsperspectieven voor het terugdringen van overstromingsrisico's* (van Uytven et al., 2023). Hierbij werd vertrokken van de meest recente versie van het Grootchalig Referentiebestand (GRB). Uit de laag 'gebouwen' werden alle hoofdgebouwen en alle bijgebouwen met een oppervlakte groter dan 40 m² weerhouden. Voor elk gebouw dat binnen één meter van de gekarteerde gebieden ligt, werd de zogenaamde evaluatiediepte berekend. Dit is de gemiddelde overstromingsdiepte langs de omtrek van een gebouw (met buffer op 1 m), vermenigvuldigd met de 'overstroomde omtrekverhouding'. Dit is de verhouding van de overstroomde omtrek tot de totale omtrek van het gebouw (eveneens met buffer op 1 m). In functie van de evaluatiediepte wordt dan bepaald in welke mate het gebouw getroffen is:

- Bij een evaluatiediepte kleiner dan 6 cm wordt het gebouw als niet getroffen beschouwd.
- Vanaf een drempelwaarde van 6 cm worden de gebouwen in het algemeen als 'getroffen door overstromingen' beschouwd op basis van een interne studie van VMM.
- Een tweede drempelwaarde wordt gezet op 20 cm waarbij aangenomen wordt dat niet-structurele maatregelen, zoals bijvoorbeeld zandzakjes, nog baat kunnen hebben. Voor een verdere beschrijving van niet-structurele maatregelen wordt verwezen naar IMDC (2022).
- Bij een evaluatiediepte van 60 cm of meer wordt een structurele bescherming noodzakelijk geacht of is een uitdoving van het gebouw gewenst.

De evaluatiediepte van de gebouwen werd berekend voor de geselecteerde gebeurtenissen en scenario's. Een voorbeeld van de uitkomst van deze berekening is getoond in Figuur 67 voor de hoogwaterperiode van november 2023 (huidig klimaat). De kaart toont zowel de gekarteerde overstromingen als de locaties van gebouwen met een evaluatiediepte van 20 cm of meer. Omwille van de duidelijkheid werd ervoor gekozen om de gebouwen met een evaluatiediepte tussen 6 en 20 cm niet te tonen. **De getroffen gebouwen zijn verspreid over de rechteroever van de IJzer te vinden. Er is ook sprake van een aantal clusters met meerdere getroffen gebouwen kort bij elkaar. Dit is het geval in de omgeving van Stavele, nabij het dierenopvangcentrum De Zonnegloed (Oostvleteren), rond Noordschote en in de omgeving van het WPC De Blankaart.**



Figuur 67. Aanduiding van (zwaar) getroffen gebouwen op de overstromingskaart van de hoogwaterperiode november 2023 (huidig klimaat).

In Tabel 11 tot en met Tabel 14 wordt het aantal getroffen gebouwen gerapporteerd voor de huidige toestand, zowel voor het huidige klimaat als het toekomstige klimaat. In geval van lagere categorieën bevatten de cijfers ook de aantallen uit de zwaardere getroffen categorieën. Dit houdt in dat de gebouwen die zwaarst getroffen zijn ook meegeteld worden in het aantal gebouwen met een evaluatiediepte groter dan 6 cm. Op basis van de cijfers in de tabellen kunnen een aantal conclusies getrokken worden:

- **Een stijging van de zeespiegel leidt tot een relatief beperkte stijging van het aantal getroffen gebouwen.** Dit is zeker het geval bij een beperkte stijging van de zeespiegel. Enkel wanneer kantelpunten overschreden worden, zoals het overstromen van de winterdijk, is er sprake van een duidelijke toename van het aantal getroffen gebouwen. Bijvoorbeeld voor nov/2023 (2100, ZSS).
- Bij gebeurtenissen die bestaan uit één grote debietspiek (nov/2009 en nov/2021) leidt de zeespiegelstijging, zelfs tot 2100, slechts tot een beperkte toename van het aantal getroffen gebouwen. Dit is een combinatie van de vaststellingen dat deze gebeurtenissen vooral problematisch zijn op de bovenloop van de IJzer en dat de zeespiegelstijging zich vooral laat voelen op de benedenloop.
- **Het overstromen van de winterdijk leidt tot een duidelijke toename van het aantal getroffen gebouwen.** Dit is zichtbaar bij dec/1993 (2100, hCC + ZSS) en nov/2023 (2100, ZSS). In het scenario nov/2023 (2050, ZSS) is ook sprake van een beperkte overstrooming van de winterdijk. Het overlopende volume is echter beperkt waardoor het aantal getroffen gebouwen niet sterk toeneemt.
- Bij gebeurtenissen met een eerder gemiddelde terugkeerperiode is er sprake van een tiental gebouwen waarvoor structurele maatregelen nodig zou zijn. Rekening houdende met klimaatverandering kan dit stijgen naar een twintigtal. Voor zeer uitzonderlijke gebeurtenissen, genre nov/2023, liggen de aantallen aanzienlijk hoger.
- De toenames van het aantal getroffen gebouwen zijn vooral zichtbaar in de laagste categorie. De marges om hierbij wel of niet over getroffen te spreken zijn dan ook kleiner.

Er dient opgemerkt te worden dat er mogelijks nog wat marge zit op het aantal getroffen gebouwen. Het hydraulische model is een regionaal model waarin niet alle elementen even gedetailleerd opgenomen zijn. De waterkeringen aan de Bergenstraat in Roesbrugge, bijvoorbeeld, zijn slechts benaderend opgenomen in het model. De overstromingskaarten werden ook opgemaakt met een relatief ruwe resolutie. Beide aspecten kunnen bijdragen aan een over- of onderschatting van het aantal getroffen gebouwen.

Tabel 11. Aantal getroffen gebouwen tijdens hoogwaterperiode dec/1993 (huidig en toekomstig klimaat).

Scenario	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Huidig	117	40	13
2050 (ZSS)	132	49	13
2100 (ZSS)	162	64	22
2050 (hCC + ZSS)	196	83	22
2100 (hCC + ZSS)	478	253	51

Tabel 12. Aantal getroffen gebouwen tijdens hoogwaterperiode nov/2009 (huidig en toekomstig klimaat).

Scenario	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Huidig	82	29	6
2050 (ZSS)	88	29	6
2100 (ZSS)	94	32	7
2050 (hCC + ZSS)	144	41	13
2100 (hCC + ZSS)	192	61	17

Tabel 13. Aantal getroffen gebouwen tijdens hoogwaterperiode nov/2021 (huidig en toekomstig klimaat).

Scenario	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Huidig	145	41	9
2050 (ZSS)	147	42	9
2100 (ZSS)	161	47	12
2050 (hCC + ZSS)	168	51	14
2100 (hCC + ZSS)	222	76	16

Tabel 14. Aantal getroffen gebouwen tijdens hoogwaterperiode nov/2023 (huidig en toekomstig klimaat).

Scenario	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Huidig	350	178	37
2050 (ZSS)	367	187	39
2100 (ZSS)	476	259	50
2050 (hCC + ZSS)	450	253	47
2100 (hCC + ZSS)	Niet berekend		

Het aantal getroffen gebouwen werd ook berekend voor een aantal van de onderzochte maatregelen. Met name voor een verbreding van de IJzer afwaarts Diksmuide (§ 4.3.1), een stijging van het maximaal toelaatbare peil op het Lokanaal (§ 4.4.2) en het inzetten van een piekbergingszone (§ 4.6.1). Deze cijfers zijn hieronder terug te vinden in Tabel 15 tot en met Tabel 17. **In nagenoeg alle gevallen ligt het aantal getroffen gebouwen na toepassing van de maatregel in de grootteorde van het aantal getroffen gebouwen tijdens november 2023 (huidig klimaat).** Dit is geen verrassing aangezien de maatregelen gedimensioneerd werden op het net niet overstromen van de winterdijk. Een dergelijke toestand komt bij benadering overeen met de maximale toestand tijdens november 2023.

Tabel 15. Aantal getroffen gebouwen met en zonder verbreding van de IJzer.

Scenario	Maatregel	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Dec/1993 (Huidig)	BAU	117	40	13
Dec/1993 (2100, hCC + ZSS)	BAU	478	253	51
	Verbreding 8 m	314	153	32
Nov/2023 (Huidig)	BAU	350	178	37
Nov/2023 (2050, hCC + ZSS)	BAU	450	253	47
	Verbreding 6 m	383	205	39
Nov/2023 (2100, ZSS)	BAU	476	259	50
	Verbreding 8 m	373	194	39

Tabel 16. Aantal getroffen gebouwen bij verdere inzet Lokanaal.

Scenario	Maatregel	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Nov/2023 (Huidig)	BAU	350	178	37
	Lokanaal + 80 cm	282	132	29
Nov/2023 (2100, ZSS)	BAU	476	259	50
	Lokanaal + 80 cm	367	179	39

Tabel 17. Aantal getroffen gebouwen bij inzet van piekbergingszone.

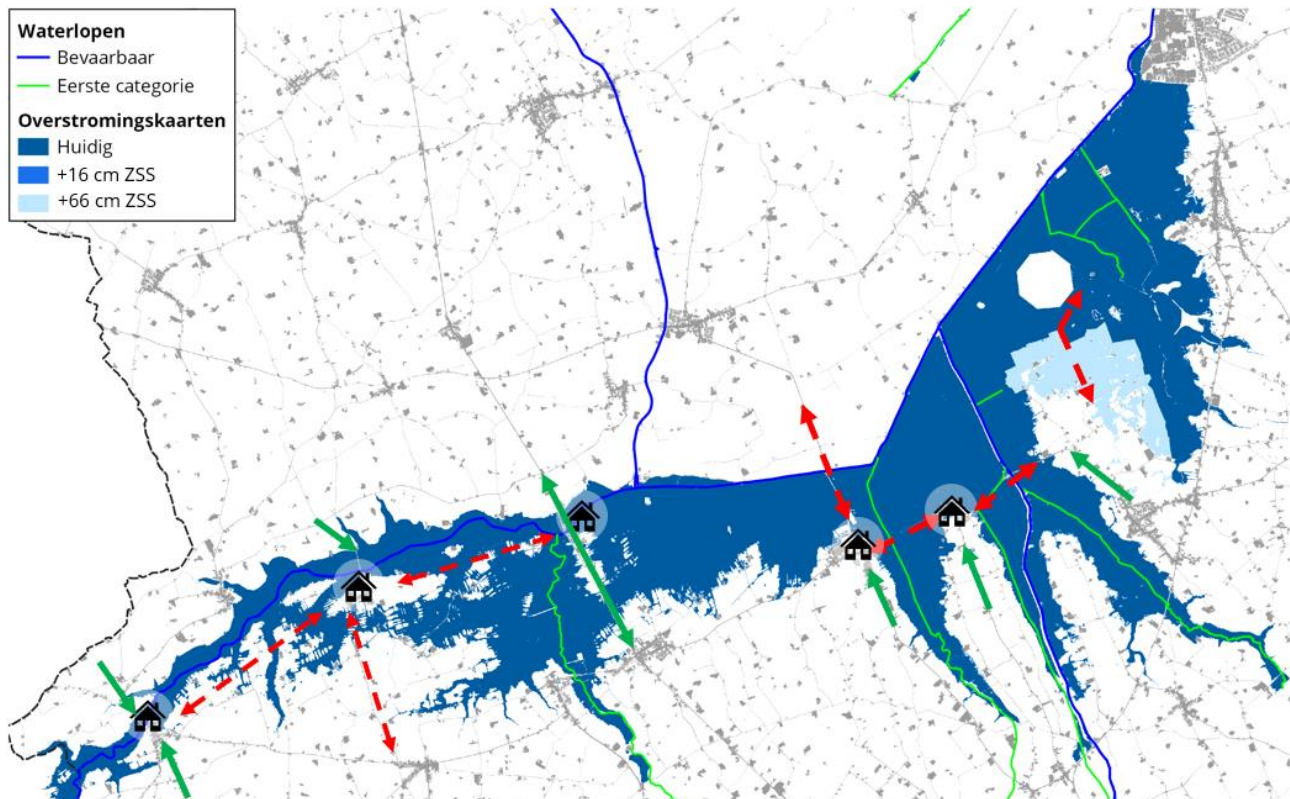
Scenario	Maatregel	> 6 cm	> 20 cm	> 60 cm
Dec/1993 (Huidig)	BAU	117	40	13
Dec/1993 (2100, hCC + ZSS)	BAU	478	253	51
	Piekberging	335	167	36
Nov/2023 (Huidig)	BAU	350	178	37
Nov/2023 (2050, hCC + ZSS)	BAU	450	253	47
	Piekberging	361	188	36
Nov/2023 (2100, ZSS)	BAU	476	259	50
	Piekberging	354	173	37

5.3.2 Bereikbaarheid en getroffen wegen

Naast het aantal getroffen gebouwen is ook de bereikbaarheid van dorpskernen een belangrijk aandachtspunt tijdens hoogwaterperiodes. Zones die langs alle kanten omsloten zijn door het water, zouden bijvoorbeeld niet of moeilijk bereikbaar kunnen zijn voor de hulpdiensten. In deze sectie van het rapport wordt een inschatting gemaakt van de verbindingswegen die getroffen werden tijdens de hoogwaterperiode van november 2023 en de impact daarvan op de bereikbaarheid van de valledorpen.

Figuur 68 toont een kaart met daarin de overstromingskaarten van de hoogwaterperiode november 2023, voor de huidige toestand en toestand met zeespiegelstijging. Daarnaast zijn ook de locaties van de valledorpen aangegeven. Van opwaarts naar afwaarts gaat het om: Roesbrugge, Stavele, Elzendamme, Reninge, Noordschote en Luigem. Van en naar de dorpskernen en ook tussen de dorpskernen is met pijlen aangegeven of de onderliggende verbindingswegen beschikbaar waren tijdens de hoogwaterperiode. Rode pijlen duiden op niet-beschikbare wegen, groene op toegankelijke wegen. Het al dan niet beschikbaar zijn van de wegen werd afgeleid op basis van de maximale overstromingscontour. Wegen die geheel of gedeeltelijk binnen de contour vallen werden als niet-beschikbaar beschouwd. Het gebruik van de maximale contour schetst een beeld over de meest nadelige situatie, maar geeft geen indicatie van de tijdsduur

waarin de wegen niet beschikbaar zijn. Hiervoor zouden per hoogwaterperiode meerdere kaarten met overstromingscontouren (bv. dagelijks) opgemaakt moeten worden. Deze meer uitgebreide analyse werd hier niet uitgevoerd.



Figuur 68. Bereikbaarheid dorpskernen tijdens hoogwaterperiode november 2023: Toegankelijke (groen) en niet-toegankelijke (rood) wegen.

Voor de beschouwde valleidorpen en het waterproductiecentrum (WPC) De Blankaart wordt de analyse uit Figuur 68 hieronder samengevat:

- **Roesbrugge** blijft bereikbaar vanuit het noorden (via Beveren-aan de IJzer en Oost-Cappel) en het zuiden (vanuit Krombeke en Proven). De verbinding naar Stavele (via de Lindestraat) was niet beschikbaar.
- **Stavele** was via meerdere kanten ingesloten door het water en daardoor moeilijk bereikbaar. Verbindingen naar het oosten (Eversamstraat naar Elzendamme), het zuiden (Krombekestraat) en het westen (Lindestraat) werden getroffen door de overstromingen. Vanuit het noorden (IJzerstraat en brug over de IJzer) bleef het dorp wel bereikbaar.
- **Elzendamme** bleef bereikbaar via de N8. De Eversamstraat richting Stavele stond op verschillende plaatsen onder water.
- **Reninge** werd aan de noord- en oostzijde getroffen door overstromingen. Dit leidde tot het geheel of gedeeltelijk niet beschikbaar zijn van respectievelijk de Lostraat en de Steenweg Reninge-Noordschote. Vanuit het zuiden (Zuidschotestraat) en het westen (Oostvleterenstraat) bleef de dorpskern wel bereikbaar.
- **Noordschote** werd langs verschillende zijden ingesloten door het water. De verbindingswegen richting Luigem (oosten) en Reninge (westen) waren hierdoor tijdelijk niet beschikbaar. Via de Middelstraat was het centrum wel nog bereikbaar vanuit Zuidschote.
- **Luigem** werd beperkt getroffen door de overstromingen, maar was niet of moeilijk bereikbaar vanuit Noordschote. De Westbroekstraat vanuit Merkem bleef de hele hoogwaterperiode beschikbaar.

- **WPC De Blankaart** bevindt zich midden in de IJzerbroeken en was langs alle kanten omsloten door het water vanuit de IJzer. De toegangsweg vanuit het zuiden (Oostbroekstraat en Vijfhuizenstraat) stond gedurende deze periode ook onder water.

Bovenstaande analyse richt zich op de verbindingswegen van en naar de dorpskernen in het getroffen gebied. Een analyse van de bereikbaarheid van elk getroffen gebouw (zie § 5.3.1) werd niet uitgevoerd.

5.4 Conclusies

In dit hoofdstuk werd een inschatting gemaakt van de ruimtelijke impact van de bestudeerde hoogwaterperiodes. Voor de vier beschouwde periodes werden overstromingskaarten opgemaakt van de maximale overstromingscontour en dit zowel voor de huidige toestand als een toestand met klimaatverandering (zeespiegelstijging en toename opwaartse debieten). Op basis van de opgemaakte overstromingskaarten werden een aantal vaststellingen gemaakt:

- De overstromingskaarten werden enkel opgemaakt voor de niet-ingedijkte zones op de linker- en rechteroever van IJzer en Handzamevaart (zie Figuur 62). Andere zones binnen het IJzerbekken werden niet opgenomen.
- In § 2.3 werd eerder reeds aangetoond dat er een goede overeenkomst is tussen de geobserveerde en berekende maximale contour van de overstromingen ten tijde van november 2023.
- Als gevolg van de stijgende zeespiegel wordt een toename van de overstroomde oppervlakte voorspeld. Deze toename is het meest uitgesproken in de buurt van Woumen en Esen. Het gaat om een uitbreiding van de bestaande getroffen zones en er lijken geen nieuwe gebieden getroffen te worden.
- Indien ook de toename van opwaartse debieten in rekening gebracht wordt, is er opnieuw een lichte toename van de getroffen zones. Voor de bovenloop van de IJzer geldt dat de toename van de getroffen oppervlakte eerder klein is. Dit is vermoedelijk het gevolg van de relatief smalle vallei van de IJzer op de bovenloop. Daar staat wel tegenover dat de waterdiepte en dus de potentiële schade in de reeds getroffen gebieden wel zal toenemen.
- Wanneer er sprake is van een overstroming van de winterdijk ter hoogte van de Blankaart is er wel sprake van een sterke toename van het overstroomde gebied. Dit kan gebeuren in de meest extreme scenario's die in dit onderzoek beschouwd werden.

Vervolgens werden de opgemaakte overstromingskaarten gekruist met andere geografische gegevens om een inschatting te maken van de getroffen infrastructuur. Hierbij werd gekeken naar het aantal getroffen gebouwen (§ 5.3.1) en de bereikbaarheid van de valledorpen (§ 5.3.2).

- Het aantal getroffen gebouwen werd berekend op basis van een methode waarin rekening gehouden wordt met de gemiddelde overstromingsdiepte rond het gebouw. De zwaarst getroffen gebouwen zijn verspreid over de rechteroever van de IJzer te vinden. Er is ook sprake van een aantal clusters met meerdere getroffen gebouwen kort bij elkaar. Dit is het geval in de omgeving van Stavele, nabij het dierenopvangcentrum De Zonnegloed (Oostvleteren), rond Noordschote en in de omgeving van het WPC De Blankaart.
- De bereikbaarheid van de valledorpen werd ingeschat op basis van de locaties van wegen en de maximale overstromingscontour ten tijde van november 2023. Uit de analyse volgt dat er verschillende verbindingswegen niet beschikbaar waren tijdens de hoogwaterperiode, maar dat elke dorpskern nog langs minstens één weg bereikbaar was.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit laatste hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies uit de voorgaande hoofdstukken nogmaals bij elkaar geplaatst. Tevens worden een aantal formuleringen voor toekomstig onderzoek en voor het verbeteren van de modellering geformuleerd. Een rangschikking van de onderzochte maatregelen of beleidsaanbevelingen over de te weerhouden maatregelen is niet opgenomen in dit rapport.

Hoofdstuk 2: Simulatie hoogwaterperiode Nov/2023

Dit hoofdstuk beschreef de resultaten van de eerste fase van het onderzoek: een modelmatige nacalculatie van de hoogwaterperiode november 2023 in het IJzerbekken. Hierbij werd gebruik gemaakt van het hydraulische model van het IJzerbekken, dat beschikbaar gesteld werd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Aan dit bestaande hydraulische model werden de randvoorwaarden van de historische hoogwaterperiode van november 2023 gekoppeld. Tevens werd getracht om de destijds uitgevoerde beheersmaatregelen zoveel mogelijk op te nemen in de simulaties.

De resultaten van de nacalculatie tonen aan dat het hydraulische model in staat is om de hoogwaterperiode november 2023 voldoende accuraat te modelleren. De tijdreeksen tonen duidelijk aan dat het model in staat is om het gedrag van het systeem, met onder andere de verdeling over de verschillende afvoerwegen en de uitgestrektheid van de overstroomde zones, voldoende nauwkeurig te modelleren. Er wordt verondersteld dat de afwijkingen tussen model en metingen geen grote impact zullen hebben op de conclusies van de tweede fase van de opdracht (evaluatie van potentiële beheersmaatregelen).

Vertrekkende van de nacalculatie werden een aantal bijkomende simulaties uitgevoerd waarin geëvalueerd werd hoe het systeem zou reageren indien er sprake was van andere condities aan zeezijde. Hierbij werden zowel een zeespiegelstijging als een doodtij bestudeerd. Een stijging van de zeespiegel zal leiden tot een toename van de maximale waterpeilen op de IJzer omdat de gravitaire afvoercapaciteit aan de Ganzepoot daalt. De impact van de zeespiegelstijging is het grootst in het meest afwaarts gedeelte van de IJzer en neemt af naarmate men verder opwaarts kijkt. Op de bovenloop blijft de impact beperkt. In elk beschouwd scenario leiden de stijgende peilen tot een overstroming van de winterdijk aan De Blankaart. De impact van het moment van doodtij lijkt beperkt te zijn. Het zou kunnen leiden tot een beperkte stijging van de maximale waterpeilen op de IJzer, maar dan voornamelijk in het ingedijkte gedeelte, afwaarts van Diksmuide.

Een belangrijke vaststelling die bevestigd werd in de nacalculatie is de versterkende impact van opeenvolgende grote debietsgolven. Het debiet op de IJzer, ter hoogte van de grens met Frankrijk, bereikte tijdens november 2023 tot driemaal toe een waarde van ongeveer 90 m³/s. Dit is lager dan het debiet dat bereikt werd in november 2021 (meer dan 100 m³/s), maar leidde over het hele bekken bekeken toch tot een meer extreme gebeurtenis. Dit is het vermoedelijk grotendeels te wijten aan de eerder beperkte afvoercapaciteit van de IJzer in het vlakke landschap. Doordat het water onvoldoende snel naar zee kan en de IJzerbroeken vult, is de bergingscapaciteit van het systeem al grotendeels ingenomen bij het begin van de tweede en derde afvoergolf. Het bijkomende water wordt hier nog bovenop gestockeerd wat leidde tot de historisch hoge waterpeilen.

De belangrijkste aanbeveling bij dit hoofdstuk is een verdere kalibratie van het hydraulische model. Het model werd in het verleden gekalibreerd aan de hand van eerdere historische hoogwaterperiodes. Geen van de beschouwde periodes was echter van de omvang van november 2023, waardoor de nacalculatie zich gedeeltelijk buiten het kalibratiebereik van het model bevond. Dit is een mogelijke bron van onzekerheden. Het verfijnen van de kalibratie van het model, waarbij gebruik wordt gemaakt van deze nacalculatie, kan bijdragen aan het verbeteren van de nauwkeurigheid van het model. Gelet op het feit dat ook klimaatscenario's doorgerekend werden, welke meestal extremer zijn dan hun historische variant, kan dit ook helpen bij het verminderen van de onzekerheden in deze simulaties.

Hoofdstuk 3: Opmaak scenario's voor analyse maatregelen

In de tweede fase van het onderzoek werd de hydraulische impact van de voorgestelde maatregelen beoordeeld. Omdat het niet aangewezen is om dit enkel op basis van de hoogwaterperiode november 2023 te doen, werden meerdere events van verschillende omvang gebruikt. De keuze voor deze events en het inrekenen van klimaatverandering is beschreven in hoofdstuk 3.

Een belangrijk punt hierbij is dat initieel beoogd werd om gebruik te maken van maatgevende events. Dit zijn sets van randvoorwaarden die na simulatie in het model leiden tot een toestand met een bepaalde vooropgestelde terugkeerperiode, bijvoorbeeld 10 of 100 jaar. Na analyse van de maatgevende events voor het IJzerbekken bleek echter dat de huidige set maatgevende events onvoldoende rekening houdt met het volumeaspect dat optreedt bij een korte opeenvolging van debietsgolven, zoals het geval was ten tijde van november 2023. Dit leidt in sommige zones van het netwerk, bijvoorbeeld tussen Fintele en Diksmuide, vermoedelijk tot een onderschatting van de waterpeilen bij een bepaalde terugkeerperiode.

Omwille van de nadelen verbonden aan het gebruik van de bestaande maatgevende events werd in dit onderzoek geopteerd voor het gebruik van historische hoogwaterperiodes. Vier historische periodes werden geselecteerd, nl. dec/1993, nov/2009, nov/2021 en nov/2023, waarbij getracht werd om verschillende mate van extremiteit binnen verschillende zones van het IJzerbekken mee te nemen. Op de bestaande historische randvoorwaarden werd vervolgens ook nog de impact van klimaatverandering toegepast. Hierbij werd zowel een zeespiegelstijging als een toename van de opwaartse debieten beschouwd.

Als aanbeveling voor toekomstig onderzoek wordt hier vooral verwezen naar het ontwerp van de maatgevende events. Een analyse van historische tijdreeksen toonde aan dat events die uit één hoge afvoergolf bestaan vooral belastend zijn voor de bovenloop van de IJzer, terwijl een opeenvolging van (eventueel kleinere) afvoergolven tot de hoogste waterpeilen leidt in de omgeving van de Blankaart en Diksmuide. Dit blijkt echter onvoldoende vervat te zitten in de huidige set van maatgevende events. Een aanpassing van de methodologie voor het ontwerp van de maatgevende events lijkt daarom aangewezen. Dit moet toelaten om waterpeilen bij bepaalde terugkeerperiodes beter in te schatten of om uitspraken te doen over de terugkeerperiode van bepaalde events, wat in dit rapport amper aan bod komt. Ook voor gebruik in toekomstig onderzoek, zoals bv. een kosten-baten analyse van de maatregelen, of in het kader van de studie rond waterzekerheidsdoelen, is het aangewezen om met terugkeerperiodes te kunnen werken.

Hoofdstuk 4: Analyse impact maatregelen

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de tweede fase van het onderzoek, waarin de impact van verschillende maatregelen op het overstromingsrisico geëvalueerd werd. De lijst met onderzochte maatregelen werd bepaald in nauw overleg met de opdrachtgevers. Alternatieve maatregelen of varianten kunnen voorwerp vormen van verder onderzoek. Aangezien er heel wat maatregelen bestudeerd zijn, werd getracht om via bouwstenen een overzicht te creëren in de veelheid ervan. Elke bouwsteen bevat maatregelen met een gelijkaardige locatie of doel en die meestal ook tot een gelijkaardige impact leiden. De zes bouwstenen en de daarin opgenomen maatregelen zijn:

- 1) **Vergroten van de afvoercapaciteit van de IJzer in Nieuwpoort**, door 1) het plaatsen van bijkomende pompcapaciteit aan de Iepersluis in Nieuwpoort, 2) het inzetten van de stormvloedkering in Nieuwpoort, of 3) het creëren van een bijkomende gravitaire afvoerweg via Kreek van Nieuwendamme en Springsas.
- 2) **Vergroten van de afvoercapaciteit van de IJzer**, via 1) het verbreden van de IJzer afwaarts van Diksmuide, of 2) de inrichting van de IJzer als perskanaal
- 3) **Vergroten van de afvoercapaciteit van het Lokanaal**, door 1) het plaatsen van bijkomende pompcapaciteit aan de Veurnesluis in Nieuwpoort, 2) het verhogen van het maximaal toelaatbaar peil op het Lokanaal in Fintele, of 3) het herstellen van het theoretische dwarsprofiel van het Lokanaal.

- 4) **Realisatie van bijkomende afvoerweg pand Duinkerke-Veurne**, 1) geconceptualiseerd als een koker onder de duinen t.h.v. Adinkerke of 2) via extra pompcapaciteit in Veurne. Verschillende varianten werden hierbij beschouwd.
- 5) **Creatie van ruimte voor water**, door de inrichting van een piekbergingszone op de linkeroever van de IJzer.
- 6) **Maatregelen op de bovenloop van de IJzer**, met het realiseren van kleinschalige bronmaatregelen of extra buffervoorzieningen op Frans grondgebied.

De beschrijvingen in dit rapport focussen zich voornamelijk op de reductie van het maximale waterpeil na realisatie van de beschouwde maatregelen. Dit werd geëvalueerd voor de verschillende historische hoogwaterperiodes en met inrekening van klimaatverandering. Er wordt verwezen naar hoofdstuk 4 voor een meer gedetailleerde beschrijving van de resultaten, of naar de samenvatting aan het begin van dit rapport voor een vergelijking van de maatregelen.

Een belangrijk inzicht is dat geen van de onderzochte maatregelen als dé oplossing geldt om het overstromingsrisico langs de IJzer drastisch te reduceren. De meest effectieve maatregelen zijn in staat om de maximale waterpeilen 10 tot 15 cm te doen dalen. Dit kan het verschil betekenen tussen kritieke en niet-kritieke wateroverlast, maar betekent vermoedelijk geen drastische reductie van de getroffen oppervlakte of de geïmpacteerde infrastructuur. Een combinatie van maatregelen lijkt daarom aanbevolen om een drastische reductie van het overstromingsrisico te realiseren.

In het kader van deze vaststelling werd in dit hoofdstuk ook nog onderzocht wat het effect is indien twee of meer van de onderzochte maatregelen gecombineerd worden. Uit de resultaten blijkt dat de impact van gecombineerde maatregelen minstens gelijk is aan de som van de individuele impacts.

De onderzochte maatregelen in dit rapport werden bepaald in overleg met de opdrachtgevers. Zoals eerder aangegeven betekent dit niet dat er geen andere maatregelen mogelijk zijn. Hieronder volgt een lijst met mogelijke andere maatregelen die kunnen helpen bij het reduceren van het overstromingsrisico en die in de toekomst nog verder onderzocht kunnen worden.

- Gecombineerde effect van maatregelen op het Lokanaal (bv. verhoging maximaal toelaatbaar peil en bijkomende pompcapaciteit in Nieuwpoort) evalueren.
- Vergroten van de buffercapaciteit van het pand Duinkerke-Veurne (Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort) door een verhoging van het maximaal toelaatbare waterpeil.
- Realisatie van een piekbergingszone op andere locaties in het IJzerbekken

Tot slot kan ook nog opgemerkt worden dat niet alle maatregelen even gedetailleerd opgenomen werden in de modellering (bijvoorbeeld de leegloop van de piekbergingszone). Dit dient in de toekomst ook nog behandeld te worden.

Hoofdstuk 5: Opmaak overstromingskaarten

Na het uitvoeren van de simulaties, beschreven in de vorige twee hoofdstukken, werden de resultaten verwerkt tot overstromingskaarten om ook de ruimtelijke impact te kunnen evalueren. De kaarten werden opgemaakt voor de niet-ingedijkte gebieden langs de IJzer en Handzamevaart. Uit een vergelijking van de kaarten blijkt dat de impact van klimaatverandering op de getroffen oppervlakte eerder beperkt is. De hogere waterpeilen leiden tot een toename van de getroffen oppervlakte, maar er is geen sprake van een sterke toename of nieuwe zones die getroffen worden. Dit is echter wel het geval wanneer de winterdijk aan De Blankaart zou overstroom.

Vervolgens werden de opgemaakte kaarten ook nog vergeleken met andere geografische informatie zoals de locatie van gebouwen en wegen. In dit rapport zijn cijfers opgenomen over het aantal getroffen gebouwen en de bereikbaarheid van de valleidorpen. In nagenoeg alle gevallen leiden de onderzochte maatregelen tot een daling van het aantal getroffen gebouwen. Deze dalingen zijn echter relatief beperkt: het blijkt niet mogelijk om tot een drastische reductie te komen en een herleiding tot een nulrisico is zeker niet mogelijk. Bij een stijgende zeespiegel zal het aantal getroffen gebouwen beperkt stijgen. Wanneer er echter sprake is

van een overstroming van de winterdijk aan De Blankaart, dan kan het aantal getroffen gebouwen wel sterk stijgen.

Een beperking bij de gerapporteerde cijfers is dat ze enkel beschikbaar zijn voor de simulaties beschreven in hoofdstuk 4. Sommige van deze simulaties werden opgezet om de benodigde omvang van een maatregel te bepalen in functie van een doelstelling, nl. het vermijden van een overstroming van de winterdijk. De impact van die maatregel op een ander scenario werd niet altijd begroot. Dit lijkt echter wel relevante informatie voor de opmaak in het meerjarenplan voor het IJzerbekken.

Volgende stappen

In dit onderzoek werden verschillende maatregelen, die als doel hebben om het overstromingsrisico langs de IJzer te reduceren, bestudeerd. De resultaten van dit onderzoek geven een zicht op de hydraulische meerwaarde van de beschouwde maatregelen, maar zijn vermoedelijk niet voldoende om te komen tot een volwaardig meerjarenplan voor het IJzerbekken. Voor de verdere uitwerking van dit plan zijn waarschijnlijk nog een aantal vervolgstappen nodig. Hieronder worden een aantal van die vervolgstappen besproken. De focus ligt hierbij op het aspect onderzoek en modellering.

- 1) De focus in dit onderzoek lag voornamelijk op de hydraulische meerwaarde van de beschouwde maatregelen. Het evalueren daarvan gebeurde in eerste instantie op basis van de daling van de maximale waterpeilen langs de IJzer en andere belangrijke waterlopen. Bij het selecteren van maatregelen voor verdere uitwerking dienen echter ook nog verschillende andere aspecten beschouwd te worden, bijvoorbeeld: ecologisch, economisch, financieel, juridisch, ruimtelijk, sociaal, technisch, ... Een inschatting van deze aspecten wordt daarom aanbevolen om tot een eerste selectie van de te weerhouden maatregelen te komen.
- 2) In een volgende stap lijkt het aangeraden om een maatschappelijke kosten-baten analyse uit te voeren van de weerhouden maatregelen. Hierin dient een afweging gemaakt te worden tussen de kosten van de maatregelen (realisatie, onderhoud, ...) en de baten (bv. vermeden schade). Een nulscenario, waarin geen maatregelen worden uitgevoerd, dient hierin ook een plaats te krijgen. Zoals eerder al aangegeven ontbreken er in dit onderzoek waarschijnlijk nog een aantal zaken om een kosten-baten analyse te kunnen uitvoeren:
 - a. Er werd gebruik gemaakt van een aantal historische hoogwaterperiodes, maar er werden geen nauwkeurige uitspraken gedaan over de terugkeerperiodes daarvan. Het gebruik van maatgevende events lijkt daarvoor meer aanbevolen. Voor het IJzerbekken vereist dit echter aanpassingen aan de bestaande maatgevende events.
 - b. Voor sommige maatregelen werd enkel begroot wat hun omvang zou moeten zijn om een overstroming van de winterdijk aan De Blankaart tegen te gaan. Er werd niet altijd berekend hoe deze maatregelen zich gedragen bij events van andere omvang. Dit is eveneens nuttige informatie om mee te nemen.
 - c. Een meer gedetailleerde invulling van de maatregelen in tijd en ruimte. Sommige maatregelen werden in dit onderzoek relatief ruw gemodelleerd, waarbij niet alle aspecten aan bod kwamen. Een meer gedetailleerde modellering biedt hopelijk een beter zicht op de noden, mogelijkheden, kosten en baten van sommige maatregelen.
 - d. Een kwantificering van de impact van sommige maatregelen op droogte. Dit onderzoek bekeek vooral het overstromingsrisico langs de IJzer, maar het stroomgebied is en blijft in droge perioden echter ook zeer kwetsbaar. Maatregelen die het overstromingsrisico kunnen reduceren en daarnaast ook een mitigerend effect hebben op de droogteproblematiek zouden dus beter moeten scoren in een maatschappelijke kosten-baten analyse. Dit vereist een manier om de baten in de strijd tegen droogte te kwantificeren en vermoedelijk ook verder onderzoek naar de combineerbaarheid van maatregelen in de strijd tegen zowel wateroverlast als droogte.

- 3) Bij het opstellen van een meerjarentraject voor de realisatie van maatregelen wordt aanbevolen om rekening te houden met het no-regret principe. Hieronder kunnen verschillende aspecten beschouwd worden:
- a. Maatregelen die zowel in het huidige als in het toekomstige klimaat een positief effect hebben op het reduceren van het overstromingsrisico. Bij voorkeur hebben de maatregelen ook nog een meerwaarde in de strijd tegen droogte en hebben ze een versterkend cumulatief effect waarbij ze mekaar niet tegenwerken.
 - b. De opschaalbaarheid van maatregelen. Daarmee wordt bedoeld dat de geselecteerde maatregelen niet allen tegelijkertijd gerealiseerd moeten worden, maar dat ze uitgerold kunnen worden in functie van de noodzaak. Bijvoorbeeld wanneer bijkomende inzichten over de omvang van klimaatverandering en het optreden van kantelpunten beschikbaar komen. Het lijkt aangewezen om hier bij het opstellen van het meerjarentraject voor het IJzerbekken, en ook bij andere plannen en investeringen in het gebied, rekening mee te houden.

Referenties

- Bogman, P.; Zoeter, F. (2024). Numerieke modellering waterbeheer - Hindcast IJzer 2021 en 2023: basisrapport. Versie 2.0. IMDC: Antwerpen. 258 pp.
- Craninx, M., Martens, M., Bronders, J. (2024). Integrale waterstrategie IJzer- en Handzamevallei: Technisch eindrapport onderzoeksvragen. Studie uitgevoerd in opdracht van Provincie West-Vlaanderen. Referentie: 2023/RMA/R/2310284
- Foré, P., Lierman, S., Van den Broeck, L. (2024). Beleidsverkenning meerlaagse waterveiligheid in de kustvlakte. Studie uitgevoerd in opdracht van Departement Omgeving en Afdeling GOP, Territoriaal Ontwikkelingsprogramma (T.OP) Kustzone
- IMDC (2022a). Gebouwen in overstromingsgebieden - Basisanalyse. I/RA/11654/22.050/LOC/.
- IMDC (2022b). Gebouwen in overstromingsgebied - Literatuurstudie. I/RA/11654/22.049/LOC/.
- Landuyt, L., Van Coillie, F. M. B., Vogels, B., Dewelde, J., Verhoest, N. E. C.; (2021). Towards Operational Flood Monitoring in Flanders Using Sentinel-1. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 14. P.11004-11018
- Leyssen, G., van Uytven, E., Zoeter, F., Pasman, R., Blanckaert, J., Adams, R. (2022). Actualiseren van de synthetische randvoorwaarden voor het opstellen van overstromingsgevaarkaarten: synthetische randvoorwaarden voor het toekomstig klimaat. Versie 2.0. IMDC: Antwerpen. 122 pp. <https://dx.doi.org/10.48607/164>
- Meert, P., Stalmans, E., Wolfs, V. (2025). Weerbaar Water+Land+Schap – Bovenloop IJzer: Specifieke modelleringsvragen. Studie uitgevoerd in opdracht van Programmateam Water+Land+Schap
- Taskforce Weerbare Westhoek (2023). Advies van de Taskforce Weerbare Westhoek aan de Vlaamse Regering naar aanleiding van de wateroverlast in het IJzerbekken van november 2023.
- Van Uytven, E., Zoeter, F., Van Rompaey, M., Vansteenkiste, J. (2023). Analyse gebouwen in overstromingsgevoelig gebied met de focus op ontwikkelingsperspectieven voor het terugdringen van de overstromingsrisico's – Optellen en toepassen van een afwegingskader voor gebouwen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij & De Vlaamse Waterweg.
- Verwaest, T., Reyns, J., Mostaert, F. (2009). Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust: impact van de klimaatsevolutie. WL Adviezen, 718_02m. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen



SUMAQUA

Tiensesteenweg 28

3001 Leuven, BELGIUM

dr. ir. Vincent Wolfs

Tel.: +32 474 422 003

Mail: vincent.wolfs@sumaqua.be

www.sumaqua.be

