

Contourlijn HW springtij 2022



Vlaanderen
is wetenschap



22_080_1
WL rapporten

Relocatie Sterneneiland Zeebrugge

Deelrapport 1
Hydromorfologische analyse

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Relocatie Sterneneiland Zeebrugge

Deelrapport 1 – Hydromorfologische analyse

De Maerschallck, B.; Plancke, Y.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2023
D/2023/3241/021

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Maerschallck, B.; Plancke, Y. (2023). Relocatie Sterneneiland Zeebrugge: Deelrapport 1 – Hydromorfologische analyse. Versie 5.0. WL Rapporten, 22_080_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Port of Antwerp-Bruges	Ref.:	WL2023R22_080_1
Trefwoorden (3-5):	Zeebrugge, Sterneneiland		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > Numerieke modelleringen Hydraulica en sediment > Morfologie > Erosie/sedimentatie > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	13	Bijlagen (p.):	20
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	De Maerschallck, B.
------------	---------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2023-03-01 10:55:14 +01:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
Projectleider:	De Maerschallck, B.	Getekend door: Bart De Maerschallck (Sig) Getekend op: 2023-02-13 11:44:52 +01:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschallck</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2023-02-13 12:49:30 +01:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

Naar aanleiding van herhaaldelijke erosie van het Sterneneiland en potentiële toekomstige havenontwikkelingen binnen de voorhaven van Zeebrugge, wordt gezocht naar mogelijke alternatieve locaties voor het Sterneneiland binnen en buiten de voorhaven.

De huidige locatie is continu onderhevig aan morfologische veranderingen (sedimentatie en erosie). Om inzicht te krijgen in de natuurlijke dynamiek van het huidige Sterneneiland werd op basis van de beschikbare topo-bathymetrische peilingen sinds 2012 een inschatting gemaakt van de sedimentatie- en erosietrends.

Binnen voorliggende quick-scan wordt tevens de morfologische stabiliteit van de alternatieve locaties ingeschat aan de hand van het TELEMAC3D Zeebrugge model. Hiervoor werd de waterbeweging over een springtij-doodtij cyclus gesimuleerd en werden tijdseries gegenereerd voor de verschillende locaties, die digitaal opgeleverd werden aan Port of Antwerp Bruges.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Methodologie	3
3 Resultaten - STROMING.....	6
4 Resultaten - MORFOLOGIE	7
5 Conclusies en aanbevelingen	12
5.1 Conclusies.....	12
5.2 Aanbevelingen	12
6 Referenties	13
Bijlage 1 Tijdsreeks stroming	B1
Bijlage 2 Figuren morfologische trends	B8
Lidar 2012-2022.....	B8
Bodemprofielen.....	B17
Satellietfoto's.....	B19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Oppervlakte Sterneneiland. De waarden tussen haakjes is het deel van het eiland dat beschermd is tegen roofdieren door middel van de <i>permanente enclosure</i> (INBO, 2021).....	1
Tabel 2 – Percentielwaarden en maximale dieptegemiddelde snelheid in de uitvoerpunten (m/s).....	6

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Uitvoerpunten stromingsberekeningen	2
Figuur 2 – Modeldomein Telemac3D Zeebruggemodel	4
Figuur 3 – Detail van het rekenrooster in en rond Zeebrugge. Binnen de havendammen varieert de resolute van 25 tot 50 meter	4
Figuur 4 – Bathymetrie	5
Figuur 5 – Gemodelleerde springtij-doodtij cyclus: 5/4/2009 – 21/4/2009	5
Figuur 6 – Topobathymetrie (LIDAR) voorjaar 2012 (links) en voorjaar 2015 (rechts)	7
Figuur 7 – Verschilplot topobathymetrie 2012-2015	8
Figuur 8 – Verschilplot topobathymetrie 2015-2016	9
Figuur 9 – Evolutie van de hoogwaterlijn 2016 - 2022	9
Figuur 10 – Evolutie van het bodemprofiel langs raai 3 sinds 2012	10
Figuur 11 – Totaal zandvolume boven de laagwaterlijn (m ³)	10
Figuur 12 – Landoppervlak boven de hoogwaterlijn (ha)	11
Figuur 13 – Oppervlakte intertidaal strand (ha)	11
Figuur 14 – Locatie 1a - Stroomsnelheid (m/s)	B1
Figuur 15 – Locatie 1a - Stroomrichting (graden)	B1
Figuur 16 – Locatie 1b - Stroomsnelheid (m/s)	B1
Figuur 17 – Locatie 1b - Stroomrichting (graden)	B1
Figuur 18 – Locatie 1c - Stroomsnelheid (m/s)	B2
Figuur 19 – Locatie 1c - Stroomrichting (graden)	B2
Figuur 20 – Locatie 1d - Stroomsnelheid (m/s)	B2
Figuur 21 – Locatie 1d - Stroomrichting (graden)	B2
Figuur 22 – Locatie 2a - Stroomsnelheid (m/s)	B3
Figuur 23 – Locatie 2a - Stroomrichting (graden)	B3
Figuur 24 – Locatie 2b - Stroomsnelheid (m/s)	B3
Figuur 25 – Locatie 2b - Stroomrichting (graden)	B3
Figuur 26 – Locatie 3 - Stroomsnelheid (m/s)	B4
Figuur 27 – Locatie 3 - Stroomrichting (graden)	B4
Figuur 28 – Locatie 5 - Stroomsnelheid (m/s)	B4
Figuur 29 – Locatie 5 - Stroomrichting (graden)	B4
Figuur 30 – Locatie 8a - Stroomsnelheid (m/s)	B5
Figuur 31 – Locatie 8a - Stroomrichting (graden)	B5
Figuur 32 – Locatie 8b - Stroomsnelheid (m/s)	B5

Figuur 33 – Locatie 8b - Stroomrichting (graden).....	B5
Figuur 34 – Locatie 8c - Stroomsnelheid (m/s).....	B6
Figuur 35 – Locatie 8c - Stroomrichting (graden).....	B6
Figuur 36 – Locatie 10a - Stroomsnelheid (m/s)	B6
Figuur 37 – Locatie 10a - Stroomrichting (graden).....	B6
Figuur 38 – Locatie 10b - Stroomsnelheid (m/s)	B7
Figuur 39 – Locatie 10b - Stroomrichting (graden).....	B7
Figuur 40 – Locatie 10c - Stroomsnelheid (m/s).....	B7
Figuur 41 – Locatie 10c - Stroomrichting (graden).....	B7
Figuur 42 – LIDAR opname voorjaar 2012.....	B8
Figuur 43 – Lidaropname voorjaar 2015 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2012 (onder).....	B9
Figuur 44 – Lidaropname voorjaar 2016 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2015 (onder).....	B10
Figuur 45 –Lidaropname najaar 2017 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2016 (onder).....	B11
Figuur 46 –Lidaropname voorjaar 2018 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2017 (onder).....	B12
Figuur 47 – Lidaropname voorjaar 2019 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2018 (onder).....	B13
Figuur 48 – Lidaropname voorjaar 2020 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2019 (onder).....	B14
Figuur 49 – Lidaropname voorjaar 2021 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2020 (onder).....	B15
Figuur 50:Lidaropname voorjaar 2022 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2021 (onder).....	B16
Figuur 51 – Locaties van de raaien, de contourlijnen zijn de hoogwaterlijnen voor de verschillende jaren	B17
Figuur 52 – Evolutie bodemprofiel raai 1, 2012-2022.....	B17
Figuur 53 – Evolutie bodemprofiel raai 2, 2012-2022.....	B18
Figuur 54 – Evolutie bodemprofiel raai 3, 2012-2022.....	B18
Figuur 55 – Evolutie bodemprofiel raai 4, 2012-2022.....	B18
Figuur 56 – Evolutie bodemprofiel raai 5, 2012-2022.....	B18
Figuur 57 – Luchtfoto's sterneneiland 2012-2013	B19
Figuur 58 – Luchtfoto's sterneneiland 2014-2015	B19
Figuur 59 – Luchtfoto's sterneneiland 2016-2017	B19
Figuur 60 – Luchtfoto's sterneneiland 2018-2019	B20
Figuur 61 – Luchtfoto's sterneneiland 2020-2019	B20
Figuur 62 – Luchtfoto's sterneneiland 2022.....	B20

1 Inleiding

Binnen de havendammen van de voorhaven van Zeebrugge bevindt zich ten noorden van de Fluxys LNG-terminal een kunstmatig schiereiland dat aangelegd werd ten behoeve van sternes. Door de uitbreiding van de haven van Zeebrugge richting de zee in de jaren 80 kwamen er heel wat nieuwe, kale terreinen bij. Dit trok verschillende vogels aan, zoals plevieren en sternes. In 1985 broedden de eerste exemplaren. Doordat de terreinen uiteindelijk gebruikt moesten worden voor havenactiviteiten, zocht men naar een alternatieve, nabije locatie opdat de vereiste habitats behouden bleven.

In 1999, ruim voor de vastlegging als speciale beschermingszone in het kader van de Europese Vogelrichtlijn (SBZ-V), werd het eerste deel (3 ha) van het Sterneschiereiland opgespoten langs de oostelijke strekdam van Zeebrugge. In 2000 werd het schiereiland vergroot tot 5 ha en in de jaren daarna werd het Sterneschiereiland stapsgewijs verder vergroot, Tabel 1. Dat gebeurde niet alleen door opspuitingen, maar ook door gebruik te maken van grond die elders in het havengebied vrijkwam bij graafwerkzaamheden. Na elke opspuiting of grondaanvoer nam de oppervlakte in eerste instantie toe, maar vervolgens ook weer af als gevolg van afslag door golfwerking en door inklinking van de opgevoerde grond. In de winter van 2013, dus voor de aanvang van het broedseizoen 2014, vond een voorlopig laatste forse opspuiting plaats in de oostelijke hoek van het schiereiland tegen de dam die aansluit bij de Fluxys-terreinen. Hierdoor nam de oppervlakte toe tot bijna 20 ha, maar in het daaropvolgende broedseizoen was de feitelijke oppervlakte aan beschikbaar broedgebied door inklinking gereduceerd tot 17 ha. Dit was niettemin de grootste oppervlakte tot nu toe. In 2020 was de totale oppervlakte van het Sterneschiereiland door afslag verder afgenomen tot ongeveer 12 ha. Hierbij moet worden opgemerkt dat vanaf 2017 feitelijk nog maar een heel beperkt deel van het sterneschiereiland geschikt was als broedgebied. Vanaf dan kon er uitsluitend nog gebroed worden binnen het deel van het eiland dat beschermd is tegen roofdieren door middel van een permanente afsluiting (permanente exclusie genoemd), 3,4 ha in 2020 (INBO, 2021).

Tabel 1 – Oppervlakte Sterneneiland.
De waarden tussen haakjes is het deel van het eiland dat beschermd is tegen roofdieren door middel van de *permanente exclusie* (INBO, 2021)

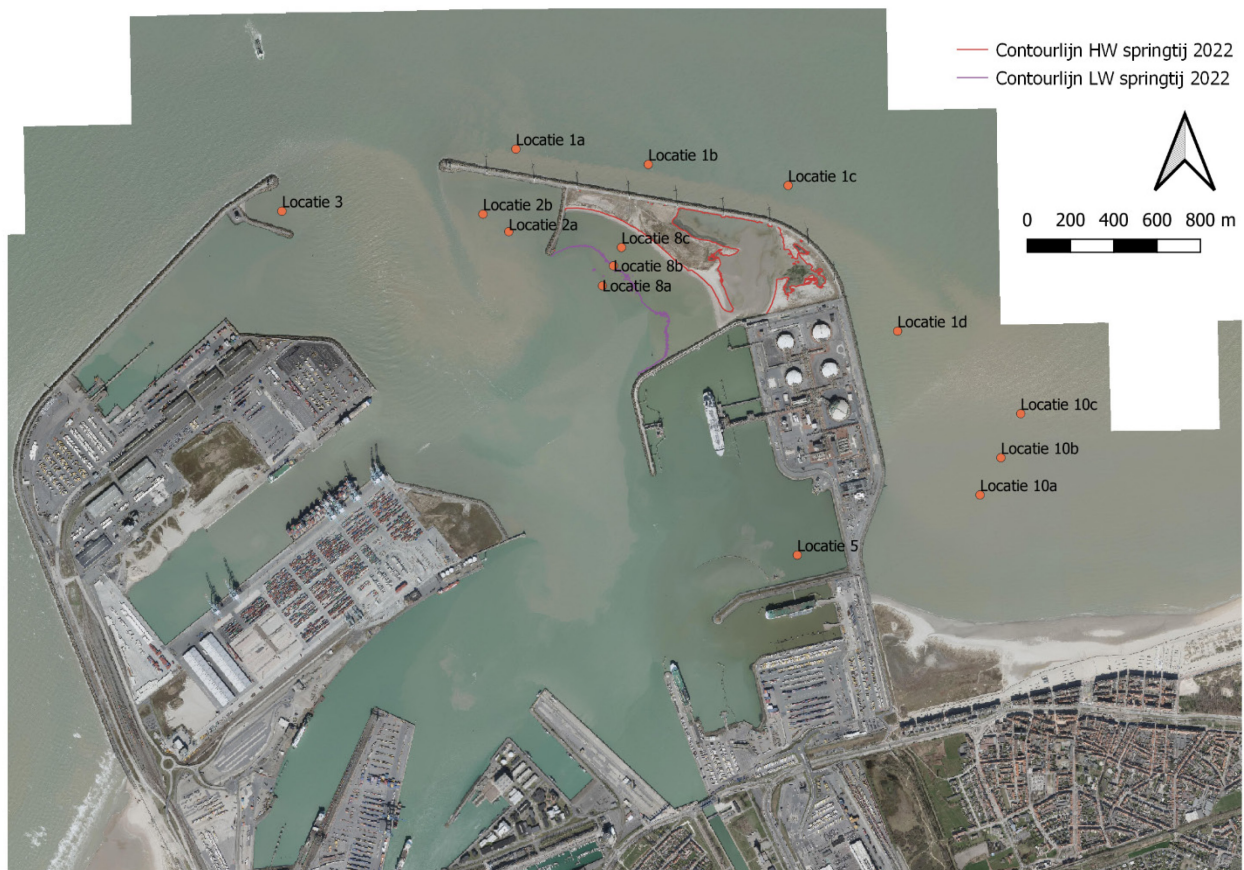
Jaar	Totale oppervlakte (ha)	Jaar	Totale oppervlakte (ha)
2005	8	2013	8
2006	9	2014	17
2007	10	2015	9-10 ¹
2008	10	2016	14-15
2009	9	2017	13 (2.5)
2010	Onbekend	2018	13 (2.5)
2011	10	2019	13 (3.4)
2012	8-9	2020	12 (3.4)

¹ de opgegeven oppervlakte in het monitoringrapport 2015 betreft wellicht uitsluitend het gedeelte waar dat jaar werd gebroed. Wanneer de opspuiting die dateert van de winter 2013/2014 in de oostelijke hoek van het schiereiland tegen de dam die aansluit bij de Fluxys-terreinen (waar niet werd gebroed) daar wordt bijgeteld zou de werkelijke oppervlakte in 2015 15-16 ha bedragen.

De huidige locatie is onderhevig aan sedimentatie en erosie. Om inzicht te krijgen in de natuurlijke dynamiek van het huidige Sterneneiland wordt in voorliggend document op basis van de beschikbare topo-bathymetrische peilingen van de voorbije jaren en een inschatting gemaakt van de sedimentatie en erosietrends.

Naar aanleiding van herhaaldelijke erosie van het sterneneiland en potentiële toekomstige havenontwikkelingen binnen de voorhaven van Zeebrugge wordt gezocht naar alternatieve locaties voor het Sterneneiland binnen en buiten de voorhaven. Vanuit de opdrachtgever Port of Antwerp-Bruges werden een aantal potentiële alternatieve locaties aangeleverd (Figuur 1). De vraag werd gesteld om een inschatting te maken van de morfologische stabiliteit van deze alternatieve gebieden.

Voor een quick-scan van de morfologische stabiliteit van de alternatieve locaties is er nood aan een inschatting van de lokale hydrodynamica. Aan de hand van het TELEMACH3D Zeebrugge model werd de waterbeweging in beeld gebracht over één volledige springtij-doodtij-cyclus. Hiervoor werden tijdseries gegenereerd voor de verschillende locaties.



Figuur 1 – Uitvoerpunten stromingsberekeningen

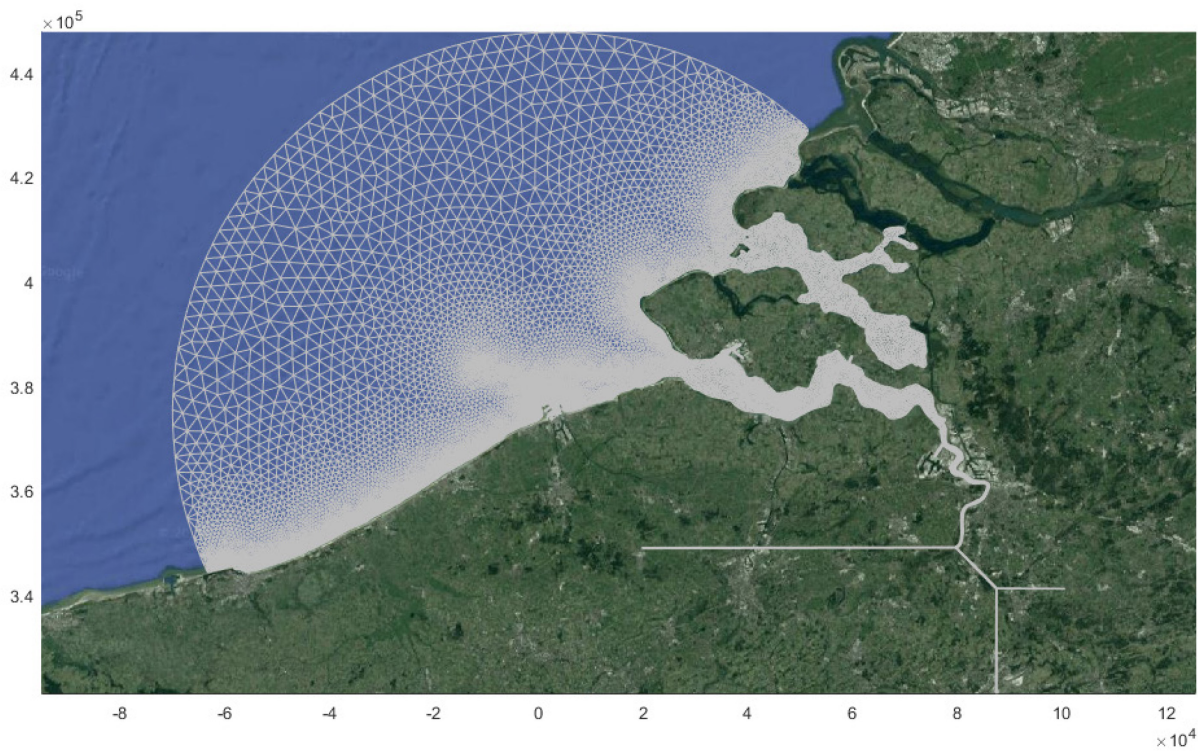
2 Methodologie

Voor de in Figuur 1 aangeduide locaties, worden voor een springtij-doodtijcyclus tijdreeksen waterstanden en stroming gegenereerd. Hiervoor wordt het Telemac3D Zeebrugge model ingezet. Het model werd in opdracht van Maritieme Toegang (MT) in 2015 door IMDC n.v. ontwikkeld om de toegankelijkheid van de haven te onderzoeken (IMDC, 2015). Ook in kader van Complex Project Kustvisie werd het model gebruikt voor scenario berekeningen en impactstudies van zeespiegelstijging (De Maerschalck *et al.*, 2017). Het model wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium in opdracht van MT beheerd. Bij de ontwikkeling van het model is extra aandacht besteed aan de neervorming binnen het Centraal Deel van de Nieuwe Buitenhaven (CDNB).

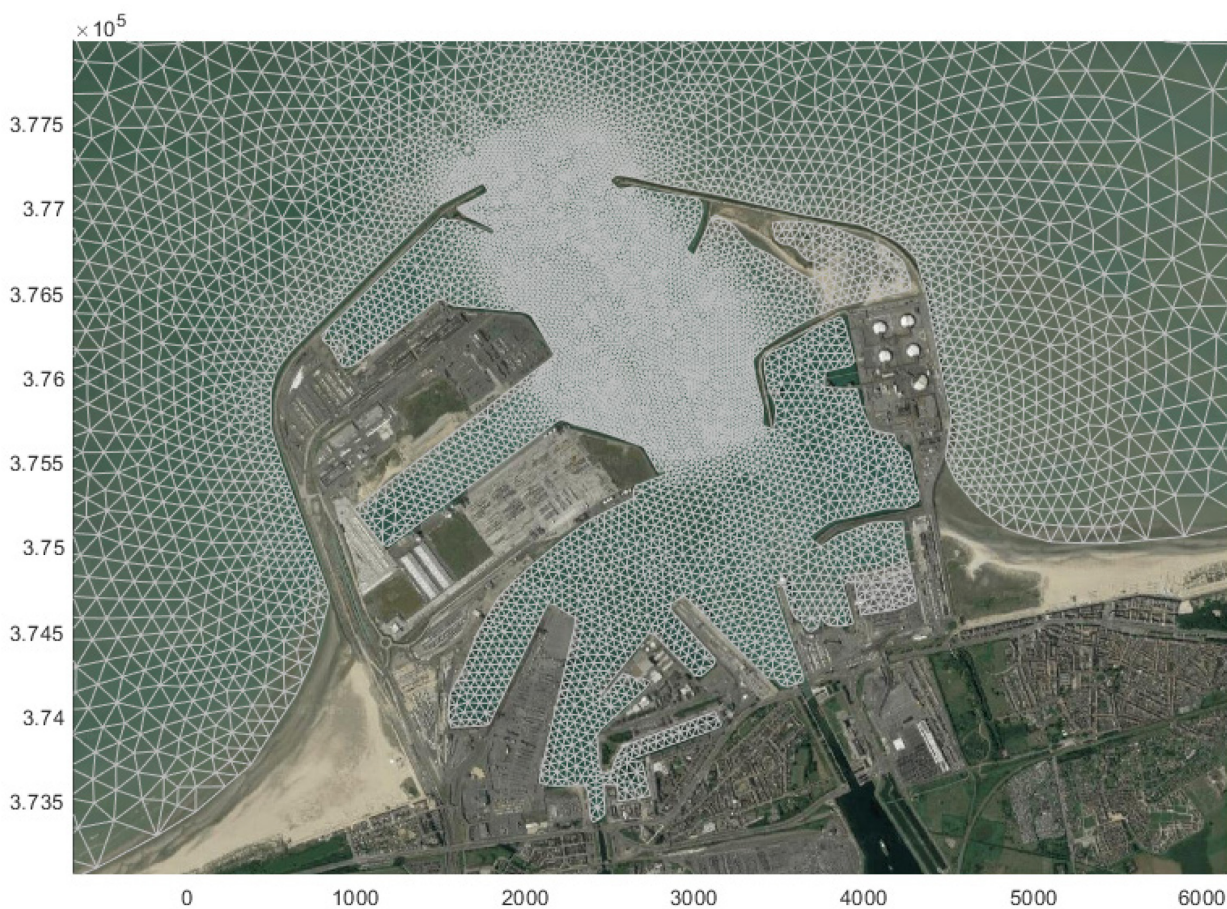
Het Zeebruggemodel is ontwikkeld binnen de TELEMAC-MASCARET modelsoftware. Telemac3D maakt gebruik van ongestructureerde triangulaire roosters (Hervouet, 2007). Dit laat toe om de geometrie en bathymetrie nauwkeurig te construeren in het model. Ongestructureerde roosters laten ook toe om lokaal, in het interessegebied, de resolutie te verhogen. Figuur 2 toont het volledige modeldomein. Om de getijstroming in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium en rond de haven van Zeebrugge goed te kunnen modeleren, bevat het model niet enkel de Belgische kust, maar ook een deel van de Franse en Nederlandse kust en de volledige Westerschelde. Om het effect van de getijvoortplanting verder opwaarts in het Schelde-estuarium te representeren, is de Zeeschelde geschematiseerd toegevoegd aan het model.

De horizontale resolutie van het model varieert van bijna 4 km off-shore tot 25 m binnen het CDNB. Het model bestaat uit 44 500 driehoeken, gekoppeld door 23 695 *nodes* horizontaal, en verticaal 10 lagen, dus 236 950 punten in het totaal. Per tijdstap van 20 seconden wordt voor elke punt de snelheid (u , v , w), waterdiepte en saliniteit berekend. De bathymetrie in het model dateert van 2009-2010 (IMDC, 2015; Dujerdin *et al.*, 2010a,b). Omwille van het tijdsaspect werd er geen update van het model in het huidige project voorzien. In een gedetailleerde vervolgstudie is het aangewezen de bathymetrie te updaten naar de meest recente peilingen. In het originele model volgt het domain de contour van de hoogwaterlijn van het Sterneneiland zoals het er toen uit zag, Figuur 3. Zoals in hoofdstuk 4 zal blijken is omwille van erosie, maar ook suppleties, ook deze niet helemaal meer up to date en is het aangeraden in vervolgstudies het rooster lokaal aan te passen aan de huidige situatie.

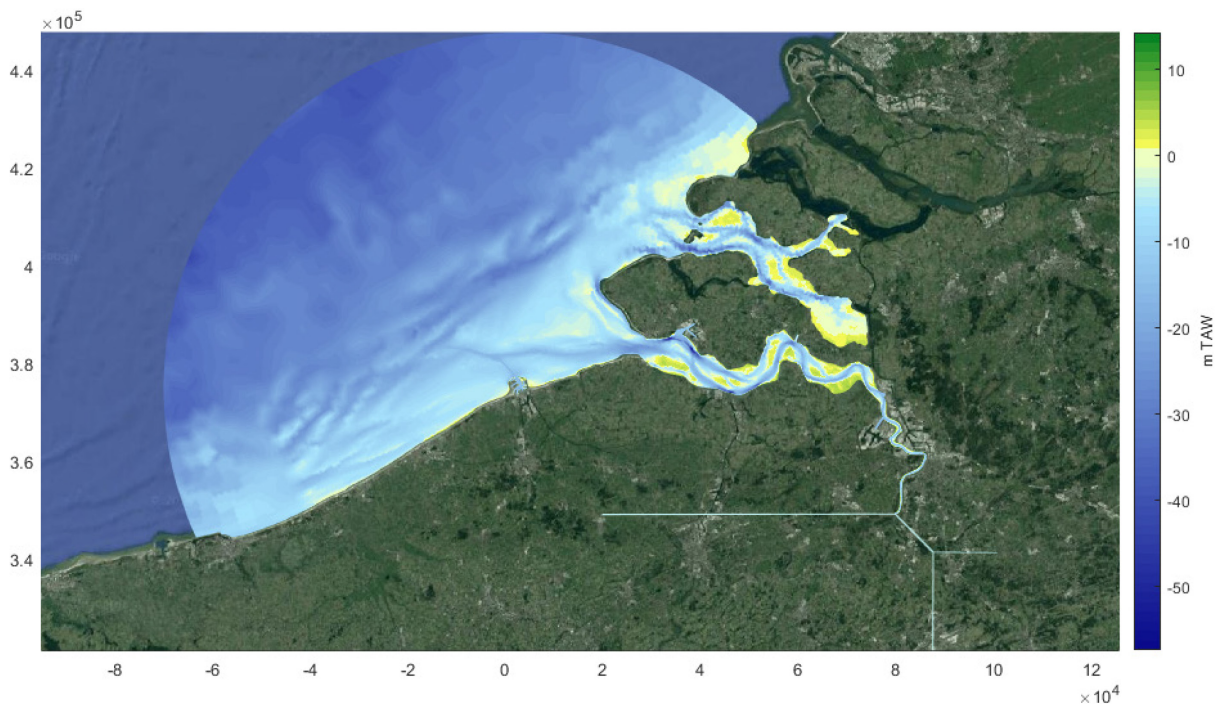
De offshore randvoorwaarden voor het model worden gegenereerd aan de hand het Continental Shelf Model (CSM) en het Zuidelijke Noorzeemodel (ZUNO). Er wordt een volledig springtij/doodtij cyclus gemodelleerd (5/4/2009 – 21/4/2009), Figuur 5. Het model rekent op het WL-rekencluster op 64 processoren. Een volledige springtij-doodtij cyclus doorrekenen duurt ongeveer een half uur.



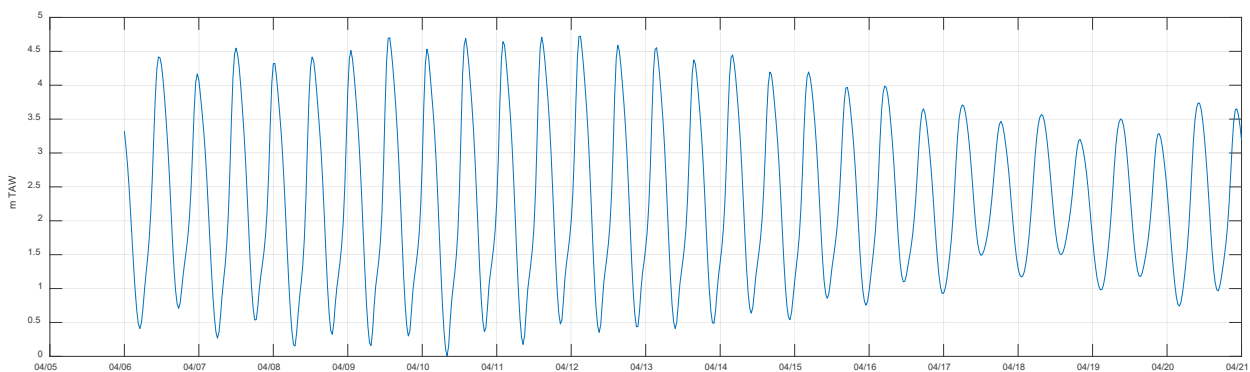
Figuur 2 – Modeldomein Telemac3D Zeebruggemodel



Figuur 3 – Detail van het rekenrooster in en rond Zeebrugge. Binnen de havendammen varieert de resolute van 25 tot 50 meter



Figuur 4 – Bathymetrie



Figuur 5 – Gemodelleerde springtij-doottij cyclus: 5/4/2009 – 21/4/2009

3 Resultaten - STROMING

De waterstand en dieptegemiddelde snelheden worden lineair geïnterpoleerd op de uitvoerpunten en met een tijdsresolutie van 30 minuten weggeschreven naar csv-bestanden. Tijdsreeksen van de dieptegemiddelde snelheid en richting zijn ook opgenomen in Bijlage 1.

Tabel 2 geeft een overzicht de percentielwaarden en maximale stroming op de verschillende locaties. De locaties 1a tot en met 1d liggen buitengaats de oostelijke havendam en liggen pal in de stroming.

Alle locaties binnen de havendammen worden gekenmerkt door een lage stroming. De locaties 2 en 3 ter hoogte van de haveningang hebben wel een hogere stroming dan ter hoogte van het huidige Sterneneiland (locatie 8c). Locatie 5 is wat stroming betreft het meest vergelijkbaar. Deze locatie zal ook het minst beïnvloed worden door golven.

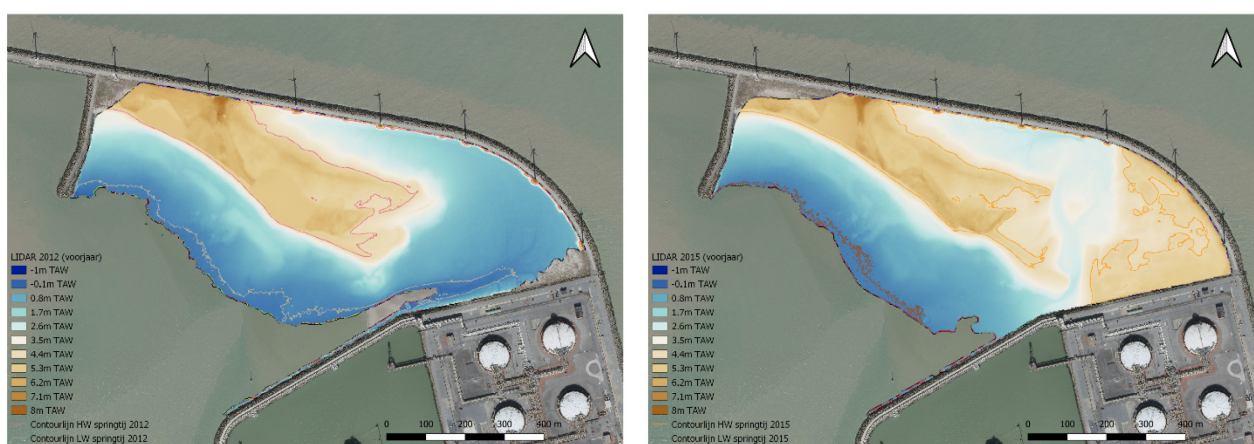
De locaties 10a tot 10c liggen ter hoogte van de Baai van Heist. Deze verondieping heeft zich op natuurlijke wijze gevormd na de uitbouw van de haven van Zeebrugge door de afzetting van fijn zand en slib (Trouw *et al.*, 2015). Deze zone ligt in de luwte van de oostelijke havendam, toch kan de maximale stroming oplopen tot 0,45 m/s bij springtij. Deze zone is beschermd tegen golven uit het westen, echter de zone is niet beschermd tegen golven uit het noorden, daar waar de ruwste golfcondities optreden bij typische noorderstormen.

Tabel 2 – Percentielwaarden en maximale dieptegemiddelde snelheid in de uitvoerpunten (m/s)
(zie Figuur 1 voor de locaties van de punten)

	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Max.
Locatie 1a	0.05	0.13	0.30	0.46	0.65	1.26
Locatie 1b	0.06	0.17	0.36	0.53	0.68	1.27
Locatie 1c	0.07	0.19	0.41	0.64	0.80	1.34
Locatie 1d	0.06	0.12	0.22	0.35	0.40	0.48
Locatie 2a	0.01	0.02	0.04	0.07	0.11	0.26
Locatie 2b	0.01	0.03	0.05	0.08	0.10	0.22
Locatie 3	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14
Locatie 5	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Locatie 8a	0.02	0.03	0.04	0.07	0.09	0.18
Locatie 8b	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.12
Locatie 8c	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.11
Locatie 10a	0.03	0.08	0.14	0.21	0.24	0.29
Locatie 10b	0.04	0.08	0.16	0.24	0.28	0.34
Locatie 10c	0.07	0.11	0.21	0.30	0.36	0.45

4 Resultaten - MORFOLOGIE

Het Sterneneiland is een kunstmatig aangelegd schiereiland aan de binnenzijde van de oostelijke havendam. De eerste aanlegwerken dateren van 1999 ter compensatie van infrastructuurwerken elders binnen de haven. In 2004 en 2007 werd het verder uitgebreid. De laatste grote uitbreiding dateert van 2013, waar de zone ten oosten van het schiereiland, tegen de LNG havendam werd opgespoten. Figuur 6 geeft de topo-bathymetrieën² van voor (2012) en twee jaar na de suppletie (2015), de verschilkaart is weergegeven in Figuur 7 (LIDAR opnames 2013 en 2014 bevatten niet de zone van het Sterneneiland). De uitbreiding in het oostelijke deel is duidelijk waarneembaar en de verschilplot. Er werd ongeveer 380 000 m³ zand opgespoten, hiermee werd ongeveer 5,5 ha extra land boven de hoogwaterlijn gecreëerd (hoogwater bij gemiddeld springtij: 4,59 m TAW³). Figuur 7 toont echter ook een terugtrekking van de hoogwaterlijn in 2015 ten opzichte van 2012 langs de zuidwestelijke flank van 10 tot maximaal 50 m. Begin 2016 werd deze zone extra gesuppleerd met ongeveer 180 000 m³



Figuur 6 – Topobathymetrie (LIDAR) voorjaar 2012 (links) en voorjaar 2015 (rechts).
Contourlijnen zijn de hoogtelijnen hoogwater en laagwater bij gemiddeld springtij

Na 2016 zijn er geen bijkomende suppleties meer uitgevoerd. Een geleidelijke terugtrekking van de hoogwaterlijn langs de zuidwestelijke flank is waarneembaar. Jaarlijkse topo-bathymetrieën en verschilkaarten zijn opgenomen in Bijlage 2. Figuur 9 toont de evolutie van de hoogwaterlijn na 2016. Het afkalven van het duinfront is ook duidelijk waarneembaar in de dwarsraai in Figuur 10 (zie ook Bijlage 2 voor de locatie van de raai en extra raaien). Tevens is in Figuur 9 en Bijlage 2 ook de natuurlijke aangroei van een landtong aan de zuidoostelijke punt van het schiereiland waarneembaar.

Merk op dat het totaal zandvolume van het schiereiland na 2016 nagenoeg constant is gebleven, Figuur 11. Het landoppervlak van het schiereiland boven de hoogwaterlijn is in de eerste twee jaren na de laatste suppletie met ongeveer 2 ha afgenomen, maar is sinds 2018 nagenoeg stabiel gebleven, ongeveer 16 ha (Figuur 12). Het geërodeerde zand langs de zuidwestelijke flank gaat dus niet verloren naar dieper gelegen

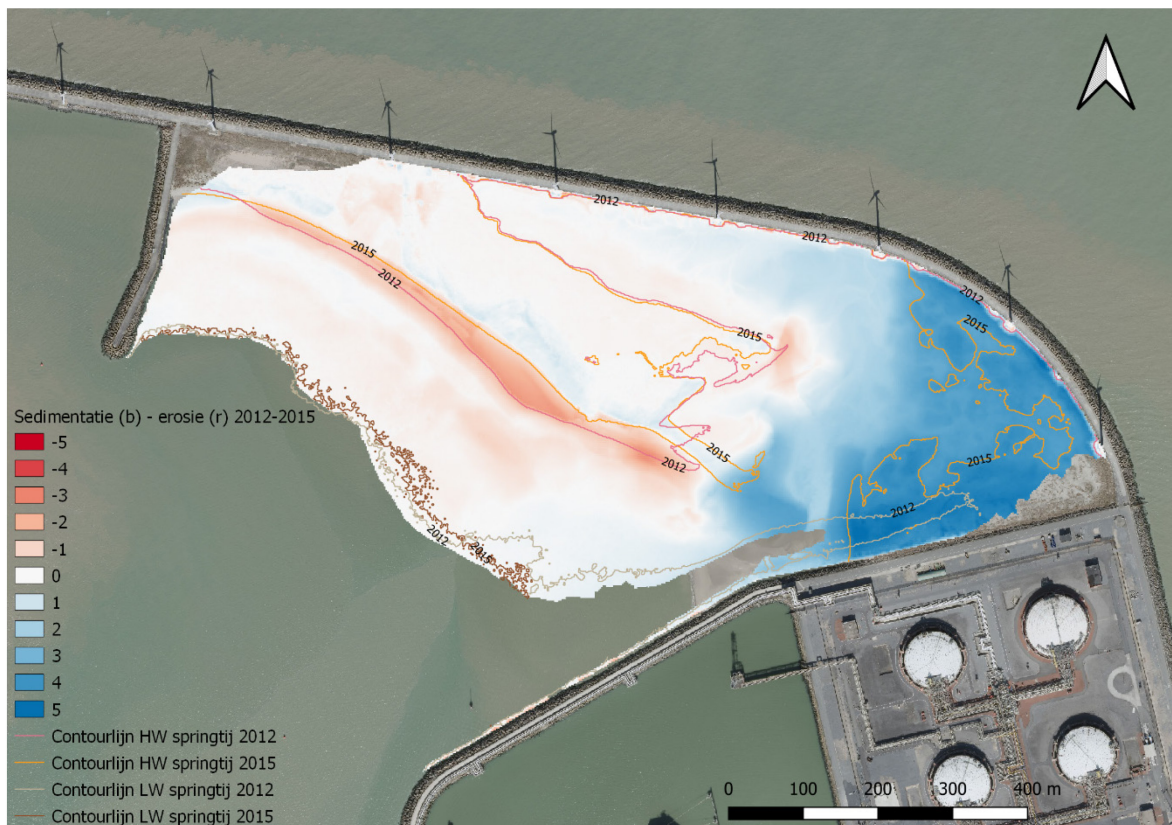
² Bron: halfjaarlijkse airborne LIDAR opname Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Hydrografie. In het voorjaar en najaar wordt de volledige strandzone van de Belgische kust gescand. Sinds 2010 is het deel in de voorhaven ten noorden van de LNG-dam toegevoegd. Echter niet elke opname bevat het sterneneiland. In voorliggend rapport worden de voorjaar-opnames gebruikt, behalve voor 2017 waar enkel de najaar-opname beschikbaar was.

³ Getijboekje 2022

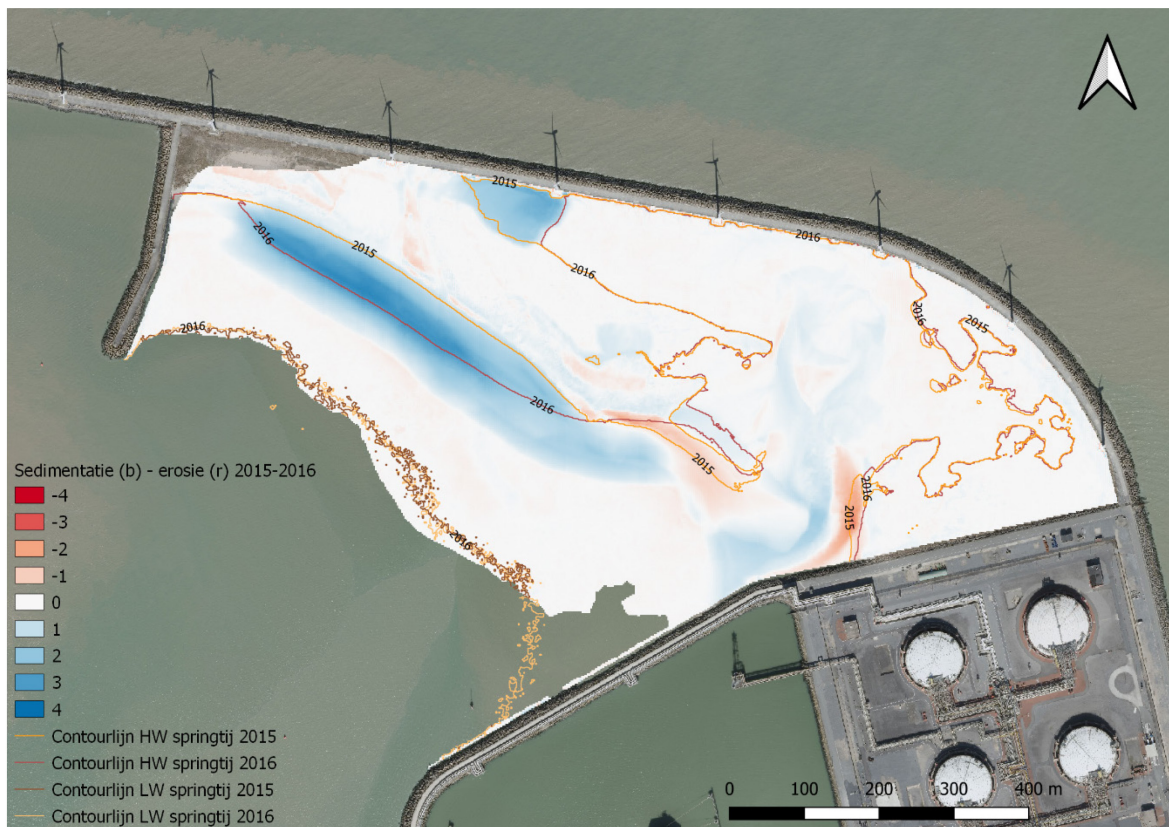
delen van de voorhaven, maar er treedt litoraal transport op van west naar oost langs de duinvoet waarna het zand zich afzet aan de zuidoostelijke tip van het schiereiland waar zich de landtong heeft gevormd.

Litoraal transport wordt typisch gedreven door golfwerking. Desondanks het afschermdende effect van de havendammen lijkt er door diffractie van inkomende golven nog voldoende golfenergie voor het transport, dit is ook zichtbaar in een aantal van de luchtfoto's in Bijlage 2. Scheepsgolven en eolisch transport kunnen hierbij ook nog een rol spelen. De getijstrooming is hier zeer laag, Figuur 34, en zal naar verwachting maar beperkte bijdrage leveren aan het sedimenttransport.

Ook bij de suppletie tegen de LNG-dijk is tussen 2015 en 2019 voor een beperkte zone een geleidelijke afkalving waarneembaar. Door de aangroei van de landtong wordt dit gedeelte de laatste jaren beter afgeschermd tegen golven vanuit het westen en stabiliseert de positie van de hoogwaterlijn zich hier.



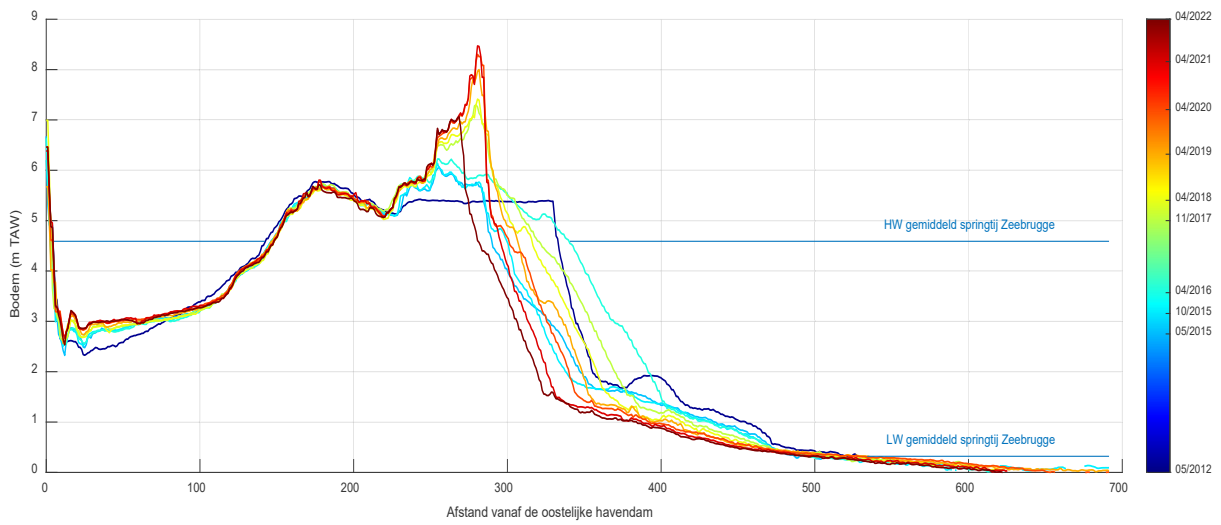
Figuur 7 – Verschilplot topobathymetrie 2012-2015 (rood=erosie, blauw=sedimentatie/suppletie)



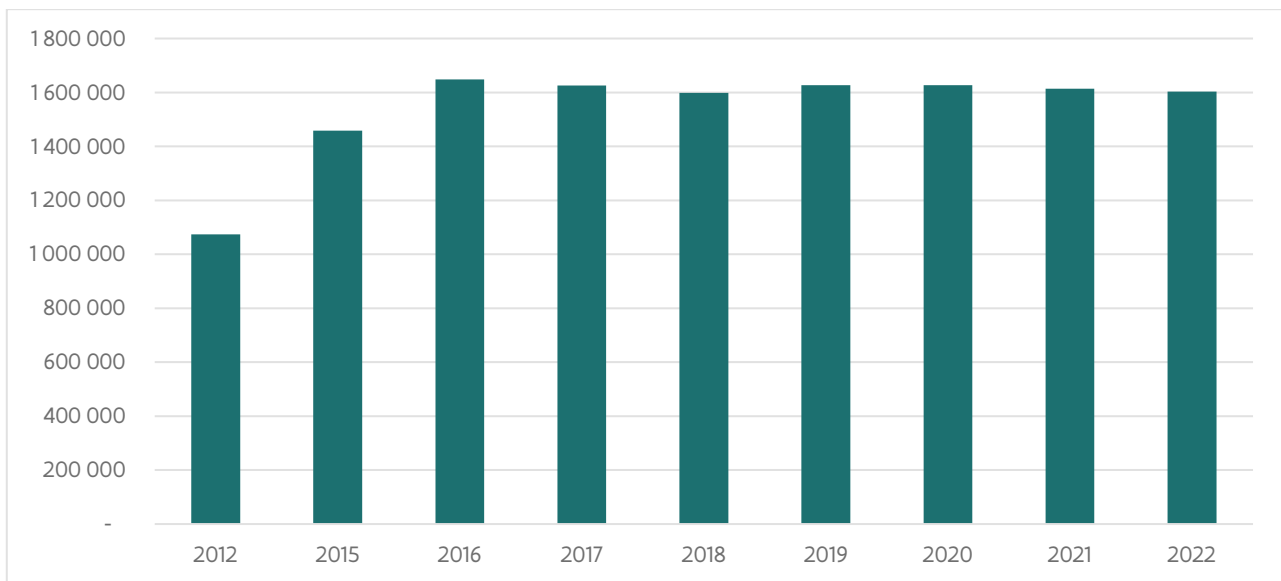
Figuur 8 – Verschilplot topobathymetrie 2015-2016 (rood=erosie, blauw=sedimentatie/suppletie)



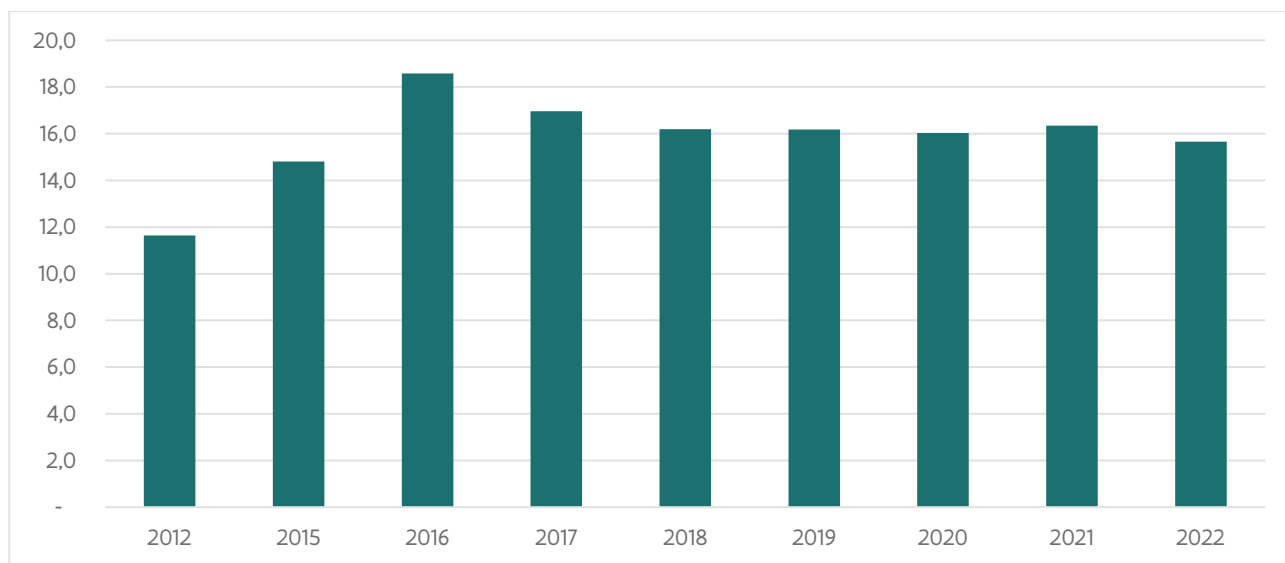
Figuur 9 – Evolutie van de hoogwaterlijn 2016 - 2022



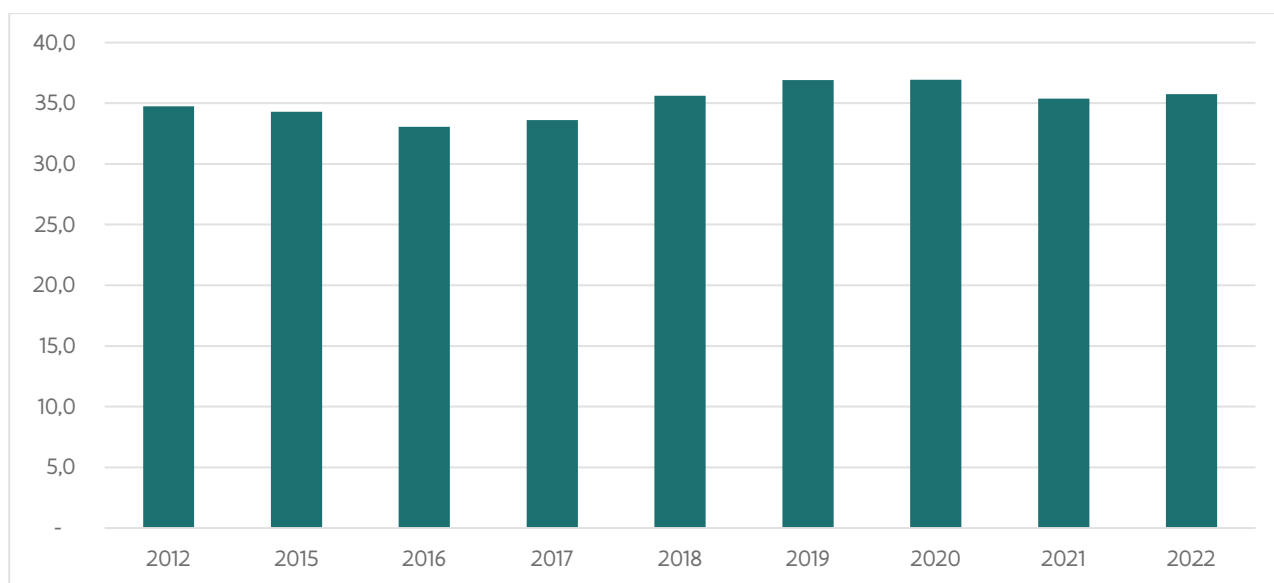
Figuur 10 – Evolutie van het bodemprofiel langs raai 3 sinds 2012 (zie Figuur 51 in Bijlage 2 voor de locatie van raai)



Figuur 11 – Totaal zandvolume boven de laagwaterlijn (m³)



Figuur 12 – Landoppervlak boven de hoogwaterlijn (ha)



Figuur 13 – Oppervlakte intertidaal strand (ha)

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Naar aanleiding van herhaaldelijke erosie van het sterneneiland en potentiële toekomstige havenontwikkelingen binnen de voorhaven van Zeebrugge, wordt gezocht naar mogelijke alternatieve locaties voor het Sterneneiland binnen en buiten de voorhaven.

Binnen voorliggende quick-scan wordt de morfologische stabiliteit van de alternatieve locaties ingeschat aan de hand van het TELEMAC3D Zeebrugge model. Hiervoor werd de waterbeweging over een springtij-doodtij cyclus gesimuleerd en werden tijdseries gegenereerd voor de verschillende locaties.

De huidige locatie is onderhevig aan sedimentatie en erosie. Om inzicht te krijgen in de natuurlijke dynamiek van het huidige Sterneneiland, werd op basis van de beschikbare topo-bathymetrische peilingen sinds 2012 een inschatting gemaakt van de sedimentatie- en erosietrends.

Ondanks de afscherpende werking van de havendammen, is er ter hoogte van de zuidwestelijke flank van het Sterneneiland door diffractie van penetrerende golven toch nog voldoende golfenergie die voor een geleidelijk erosie van de duinvoet zorgt. Mogelijks dat ook eolisch transport hier een rol bij speelt. Er wordt aangenomen dat getijstrooming hier weinig toe bijdraagt.

Desondanks de erosie langs de zuidwestelijke flank, is het totale zandvolume van het schiereiland (volume boven de laagwaterlijn) nagenoeg constant sinds de laatste suppletie. Ook het totale oppervlakte boven de hoogwaterlijn is de laatste jaren nagenoeg stabiel. Het geërodeerde zand komt niet terecht in de diepere delen van de voorhaven, maar wordt getransporteerd van west naar oost langs de duinvoet waar er zich ter hoogte van de oostelijke punt van het schiereiland zich een landtong ontwikkeld heeft.

5.2 Aanbevelingen

Voor de vastgestelde morfologische veranderingen van het Sterneneiland werden een aantal mogelijke verklaring geformuleerd. Golfmetingen, of stroommetingen zijn echter voor deze zone niet beschikbaar. Een meetcampagne zou extra inzicht kunnen geven in deze processen.

De huidige quick-scan is uitgevoerd met het beschikbare modelinstrumentarium. Indien er een trechtering gebeurt in de potentiële alternatieve locaties, verdient het de aanbeveling de lay-out en de stabiliteit van deze alternatieve locaties in detail te onderzoeken gebruik makend van de verschillende onderzoekstools (metingen, fysisch schaalmodel, numeriek model) om de onzekerheden te reduceren.

6 Referenties

De Maerschallck, B.; Renders, D.; Vanlede, J.; Gourgue, O.; Willems, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Modelling Vlaamse Baaien: Deelrapport 1: Hydrodynamische Modelling Scenario's Oostkust. Versie 6.0. WL Rapporten, 15_068. Waterbouwkundig Laboratorium & afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen, België.

Dujardin, A.; De Clercq, B.; Vanlede, J.; Delgado, R.; van Holland, G.; Mostaert, F. (2010a). Verbetering numeriek instrumentarium Zeebrugge: bouw en afregeling detailmodel. Versie 2.0. WL Rapporten, 753_08. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC/Soresma: Antwerpen.

Dujardin, A.; Vanlede, J.; Delgado, R.; Mostaert, F. (2010b). Verbetering numeriek instrumentarium Zeebrugge: deelrapport 2. Bathymetrie aanpassing ter hoogte van de kop van de oostelijke strekdam. versie 2.0. WL Rapporten, 753_08. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

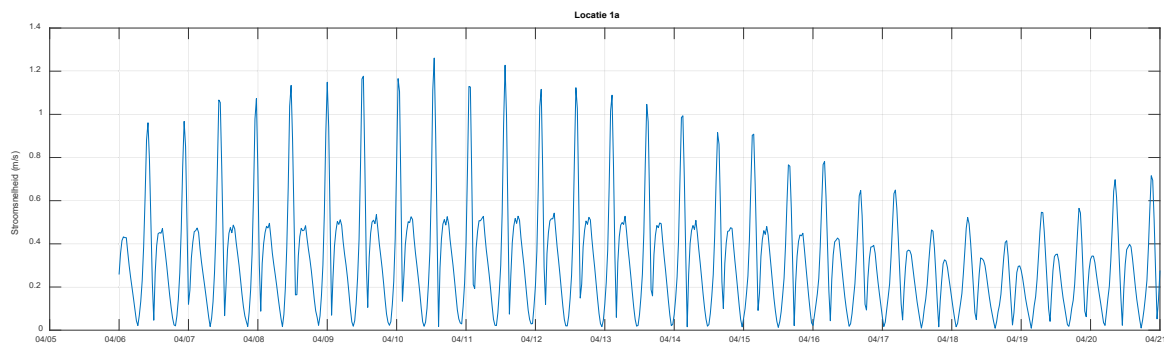
Hervouet, J. M. (2007). Hydrodynamics of Free Surface Flows: Modelling with the finite element method. Wiley.

IMDC n.v. (2015). Telemac-Zeebrugge model – Set-up, calibration and validation. I/RA/11401/13.072/JUD, Antwerpen.

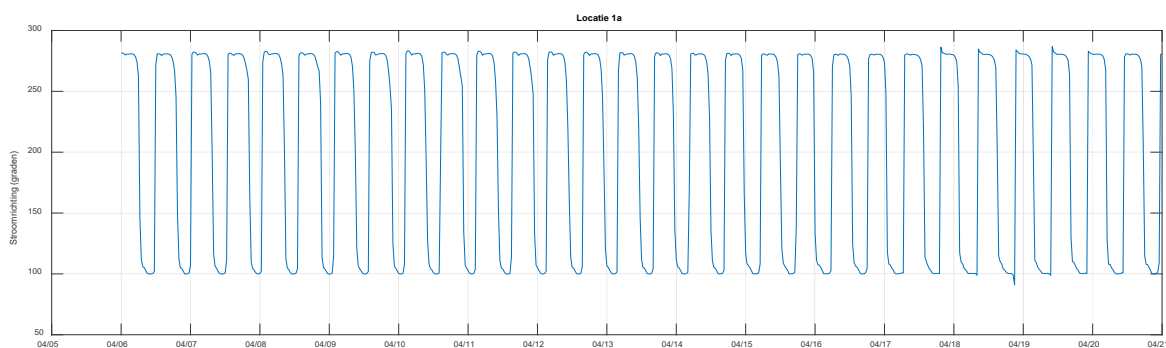
INBO. (2021). Monitoring van de instandhouding van kustbroedvogels in de SBZ-V. doi:10.21436/inbor.34237378

Trouw, K.; Zimmermann, N.; Wang, Li.; De Maerschallck, B.; Delgado, R.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone: Literature and data review coastal zone Zeebrugge - Zwin. Version 4_0. WL Rapporten, 12_107. Flanders Hydraulics Research. Antwerp, Belgium.

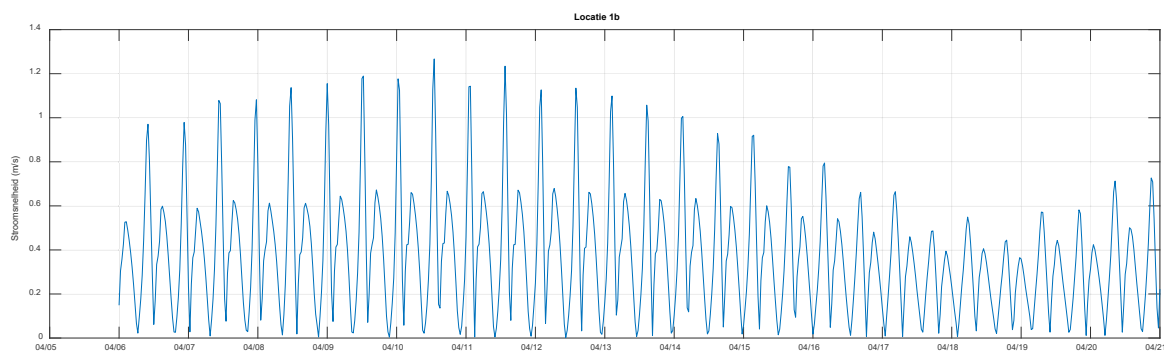
Bijlage 1 Tijdsseries stroming



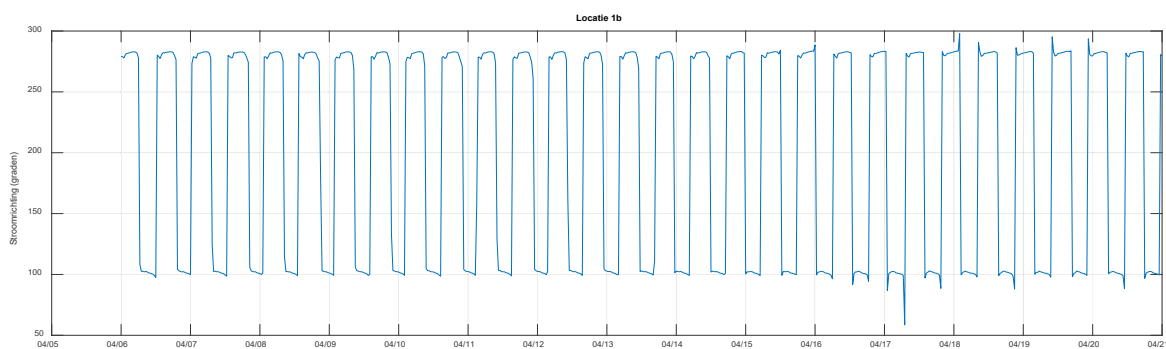
Figuur 14 – Locatie 1a - Stroomsnelheid (m/s)



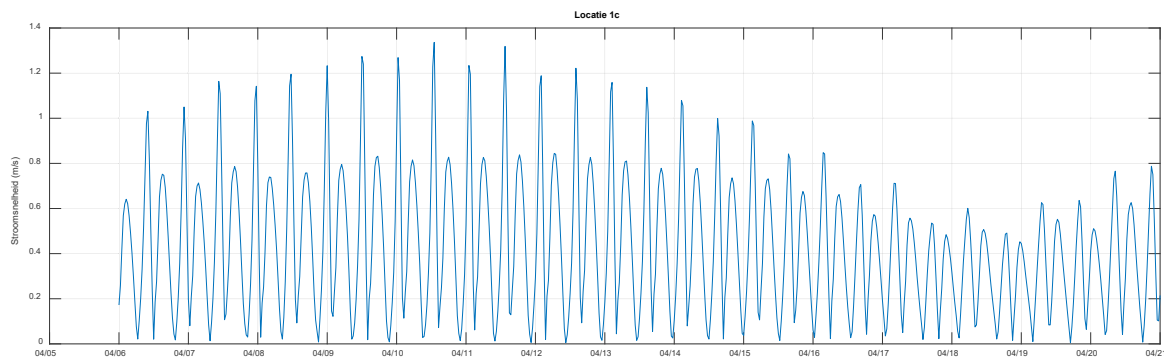
Figuur 15 – Locatie 1a - Stroomrichting (graden)



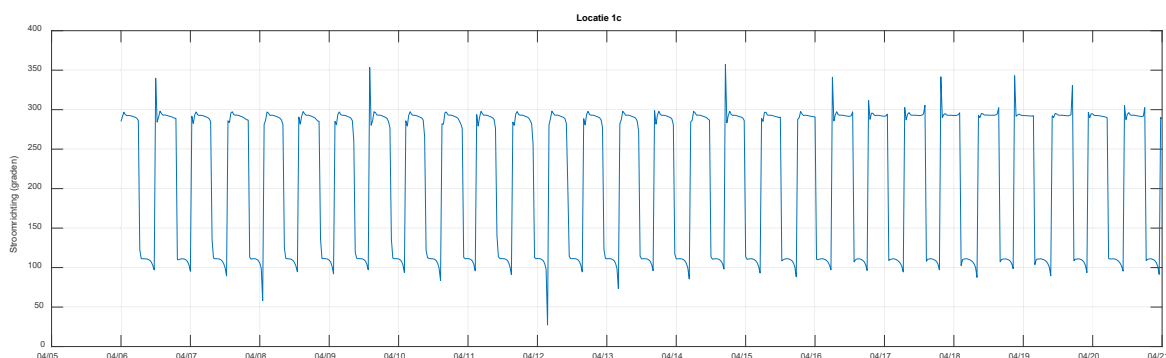
Figuur 16 – Locatie 1b - Stroomsnelheid (m/s)



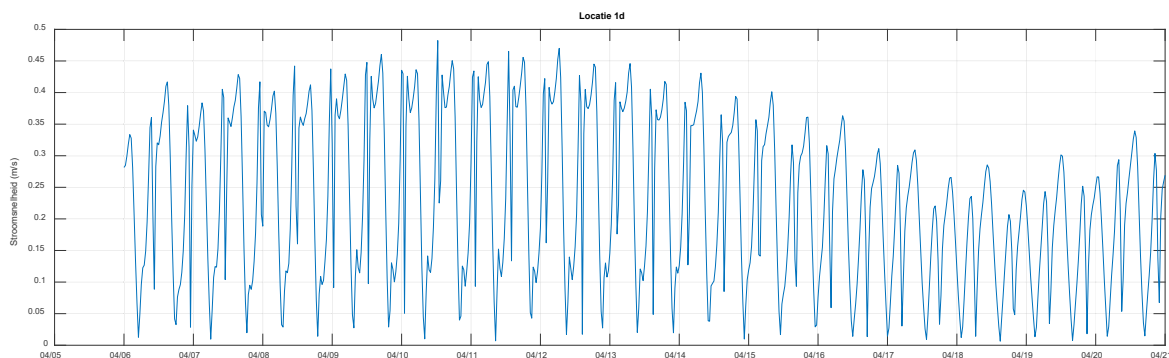
Figuur 17 – Locatie 1b - Stroomrichting (graden)



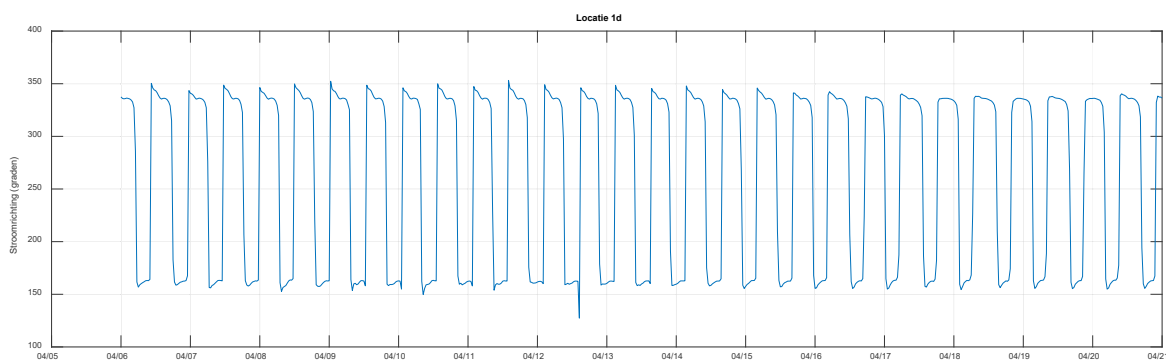
Figuur 18 – Locatie 1c - Stroomsnelheid (m/s)



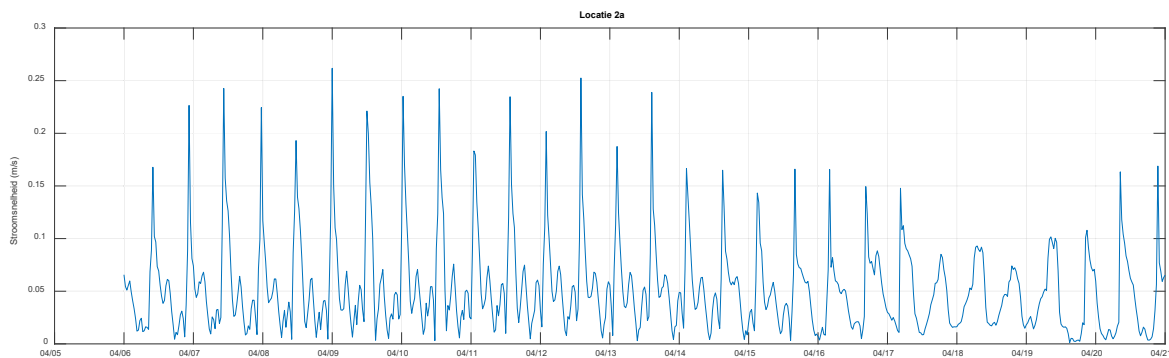
Figuur 19 – Locatie 1c - Stroomrichting (graden)



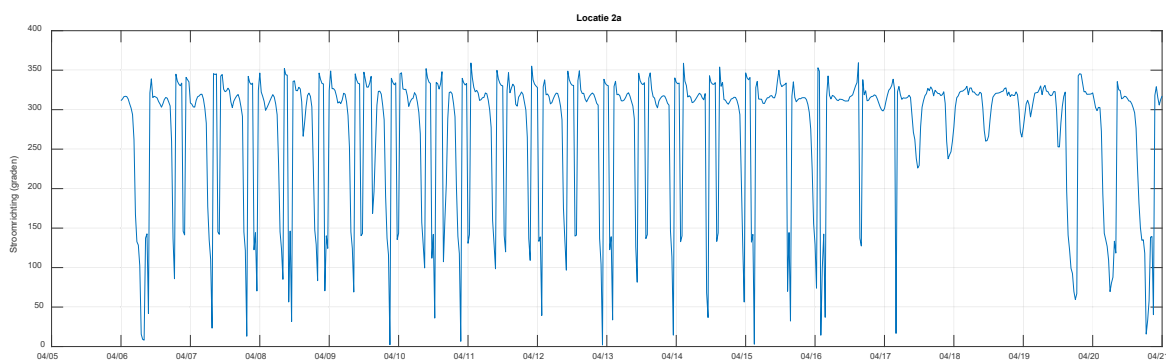
Figuur 20 – Locatie 1d - Stroomsnelheid (m/s)



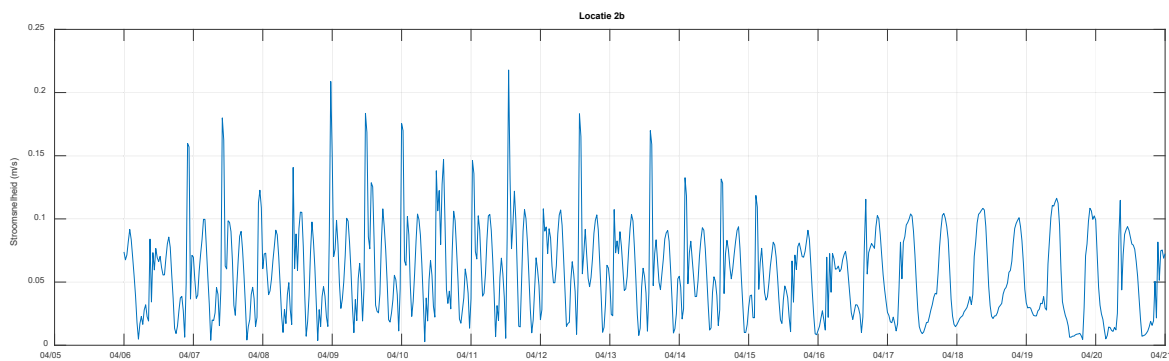
Figuur 21 – Locatie 1d - Stroomrichting (graden)



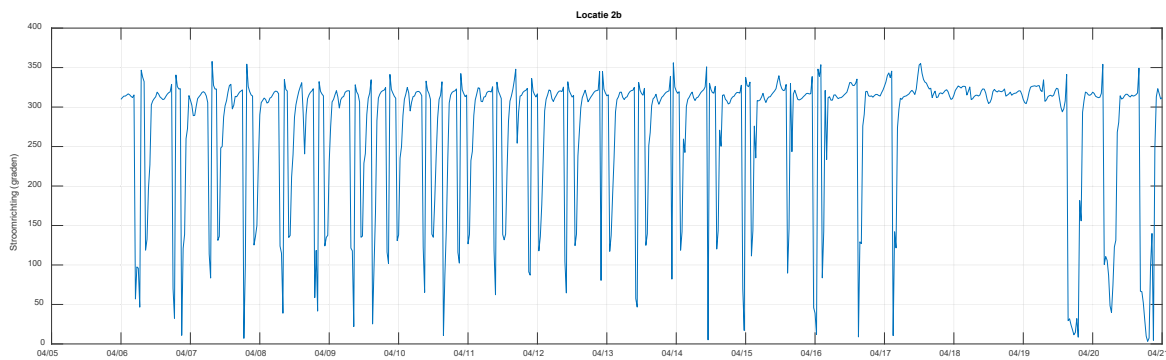
Figuur 22 – Locatie 2a - Stroomsnelheid (m/s)



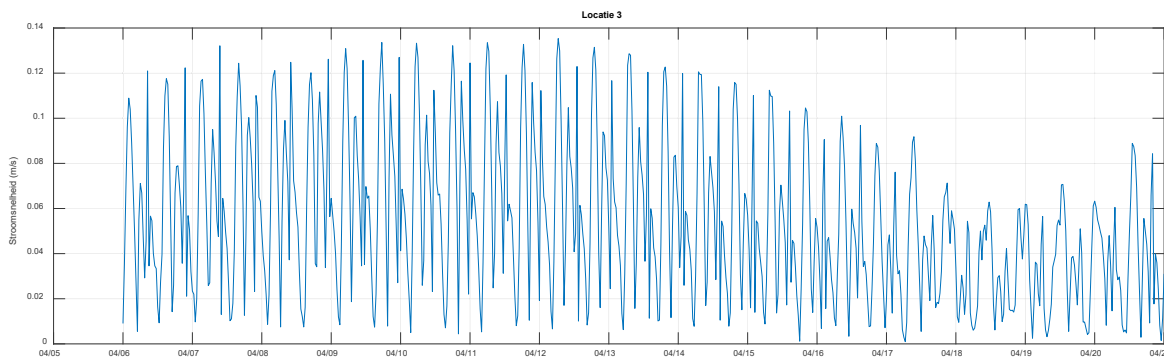
Figuur 23 – Locatie 2a - Stroomrichting (graden)



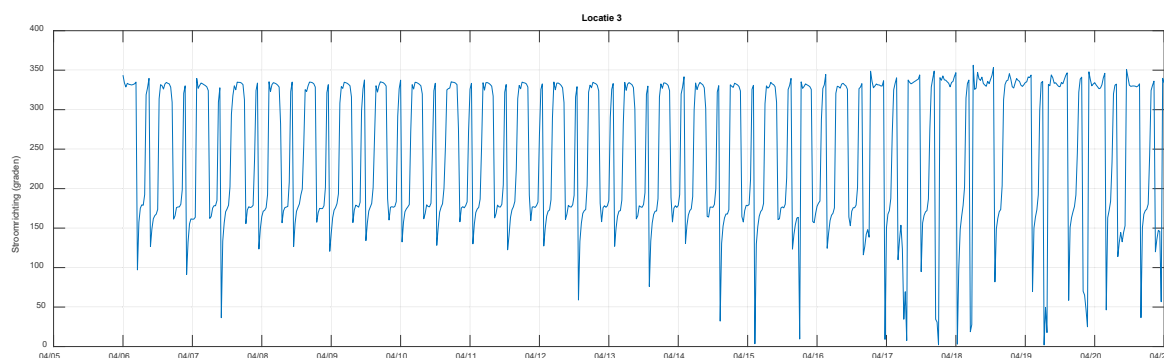
Figuur 24 – Locatie 2b - Stroomsnelheid (m/s)



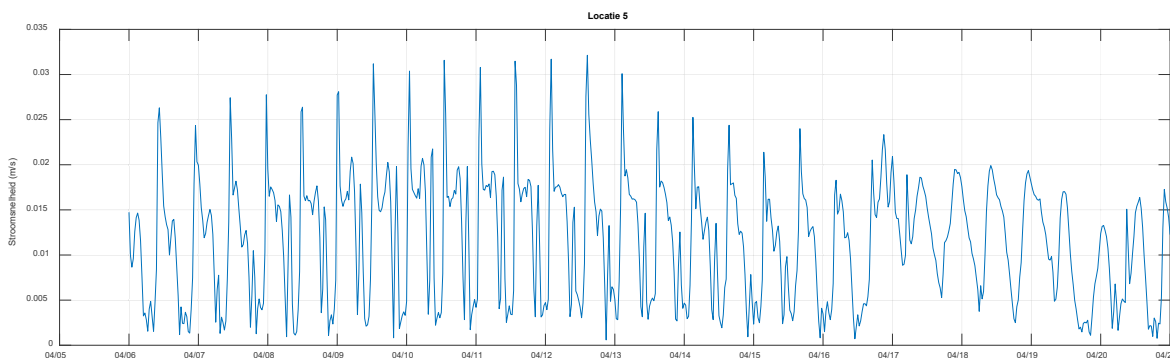
Figuur 25 – Locatie 2b - Stroomrichting (graden)



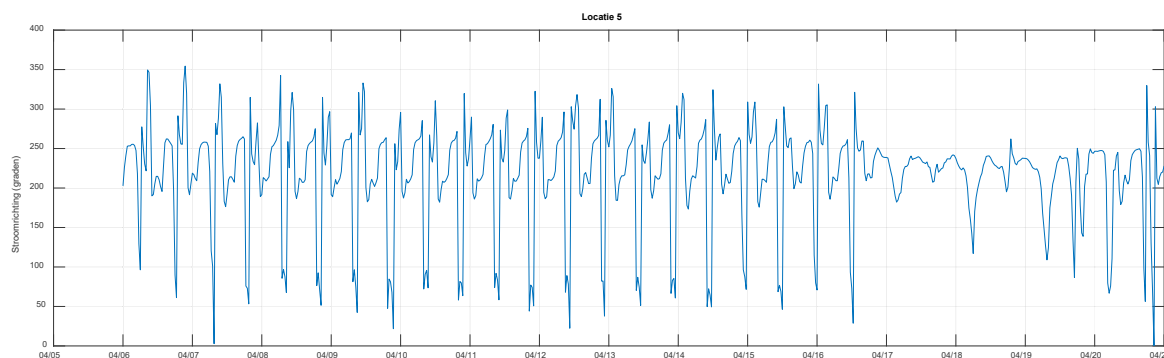
Figuur 26 – Locatie 3 - Stroomsnelheid (m/s)



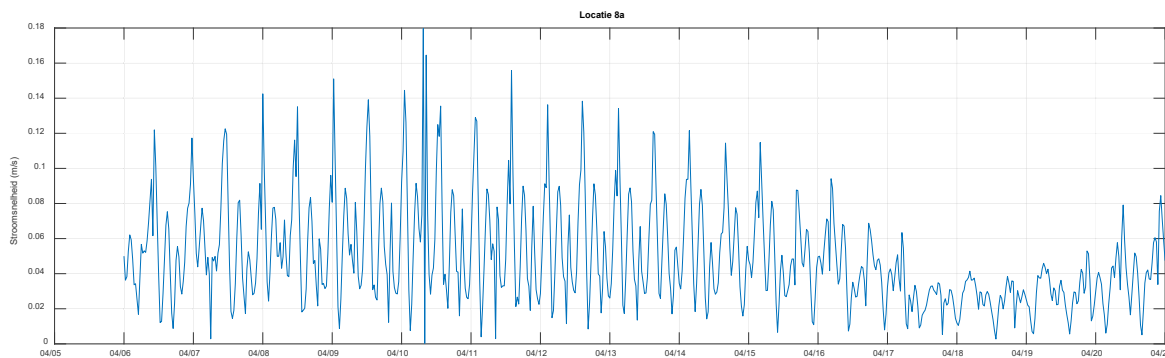
Figuur 27 – Locatie 3 - Stroomrichting (graden)



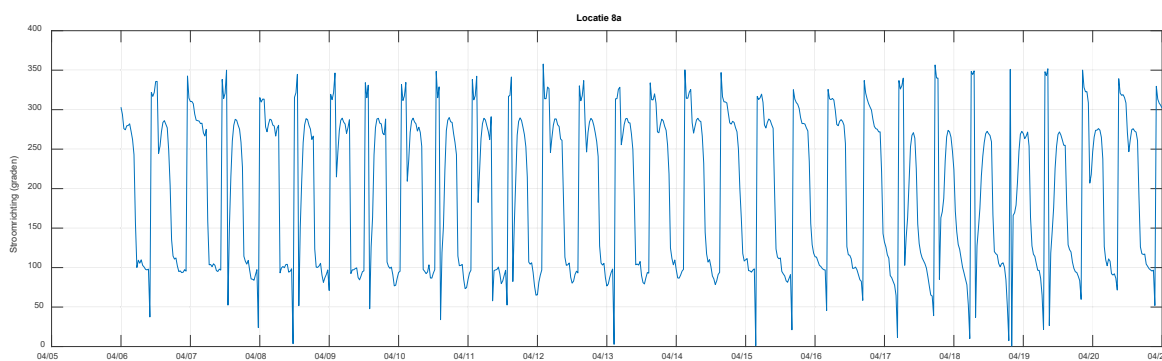
Figuur 28 – Locatie 5 - Stroomsnelheid (m/s)



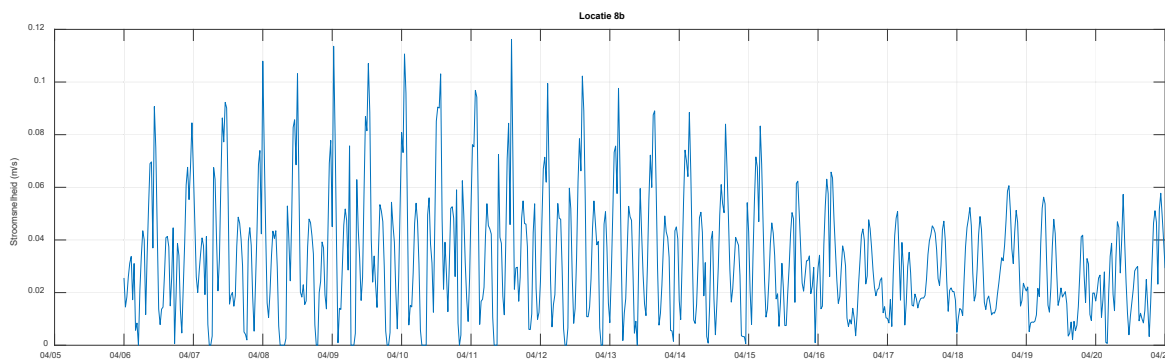
Figuur 29 – Locatie 5 - Stroomrichting (graden)



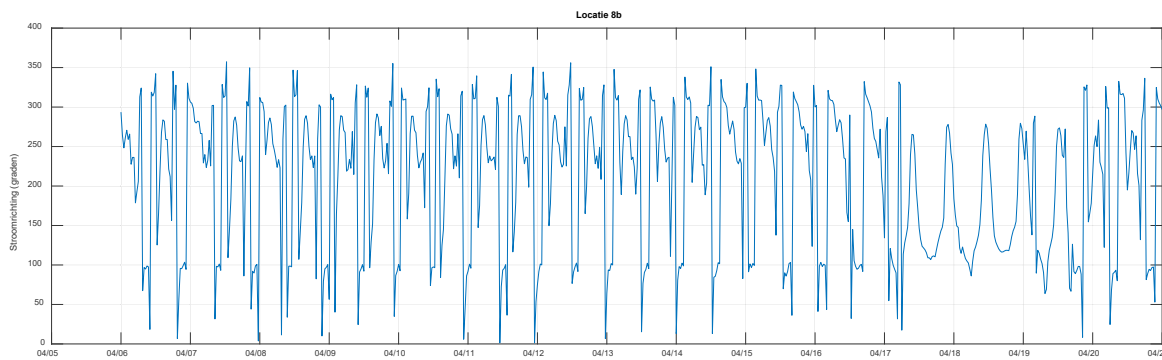
Figuur 30 – Locatie 8a - Stroomsnelheid (m/s)



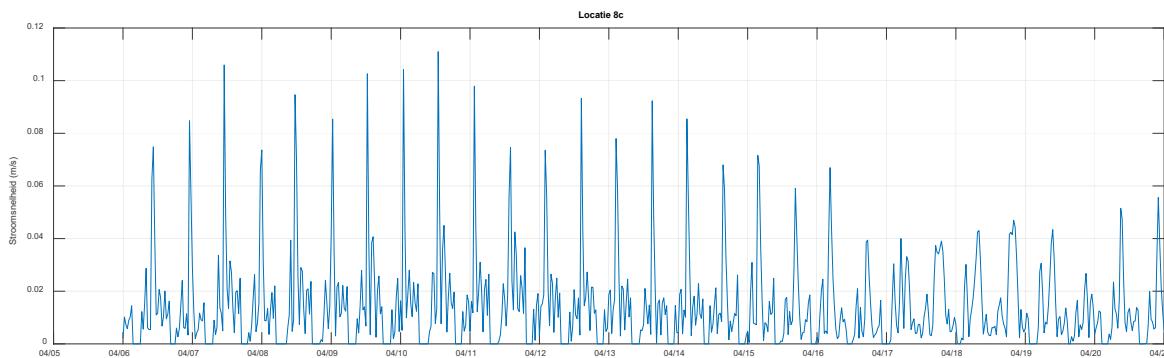
Figuur 31 – Locatie 8a - Stroomrichting (graden)



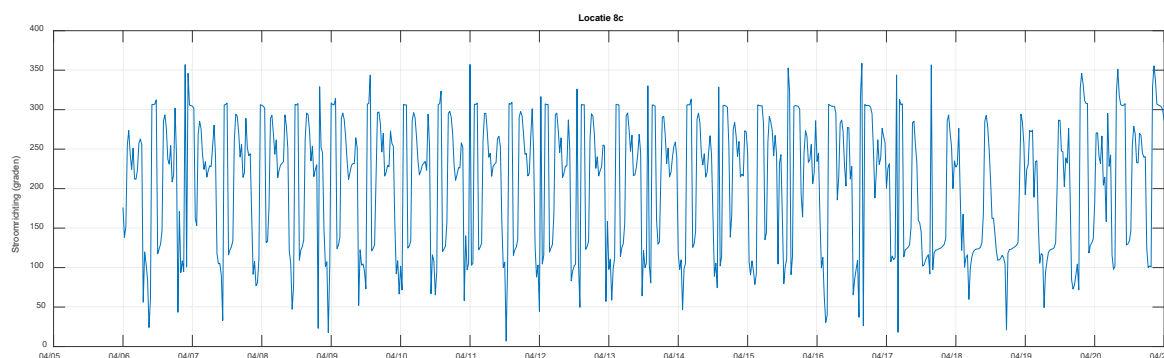
Figuur 32 – Locatie 8b - Stroomsnelheid (m/s)



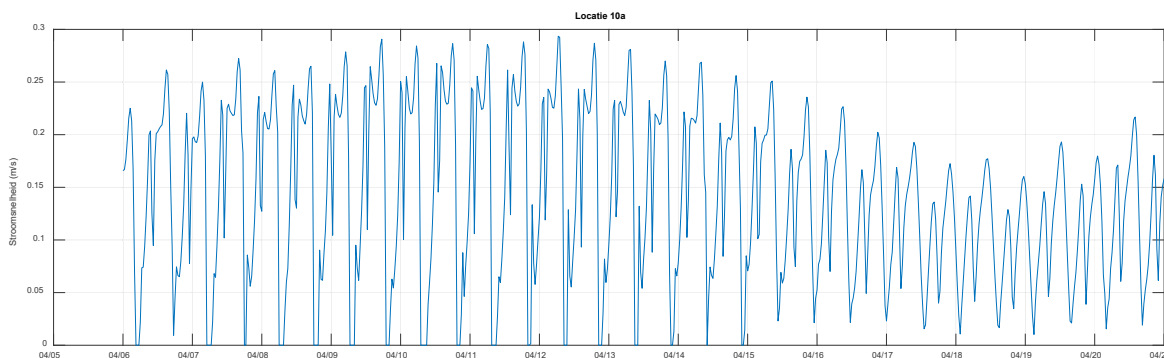
Figuur 33 – Locatie 8b - Stroomrichting (graden)



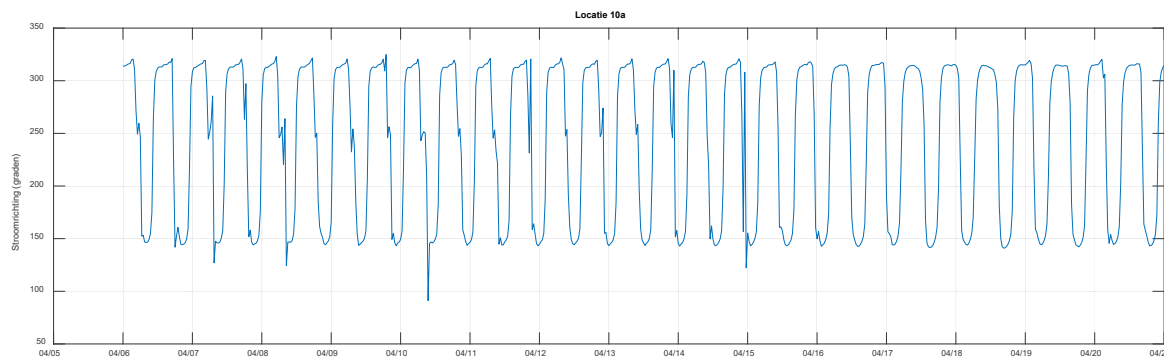
Figuur 34 – Locatie 8c - Stroomsnelheid (m/s)



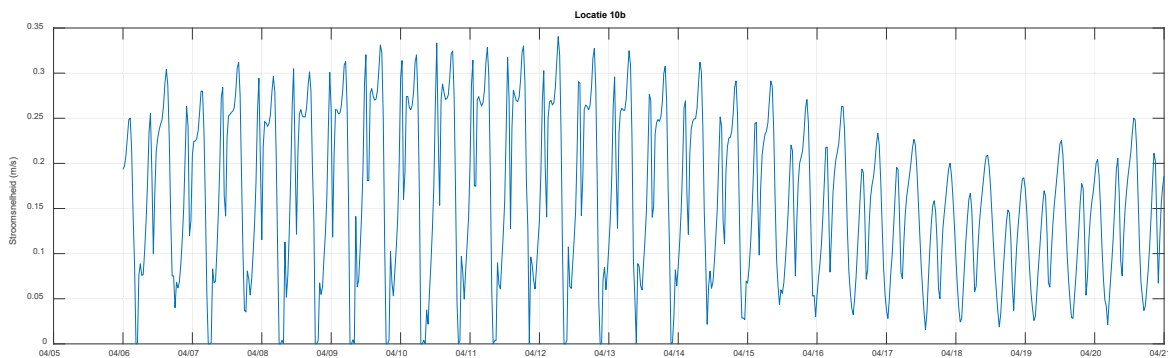
Figuur 35 – Locatie 8c - Stroomrichting (graden)



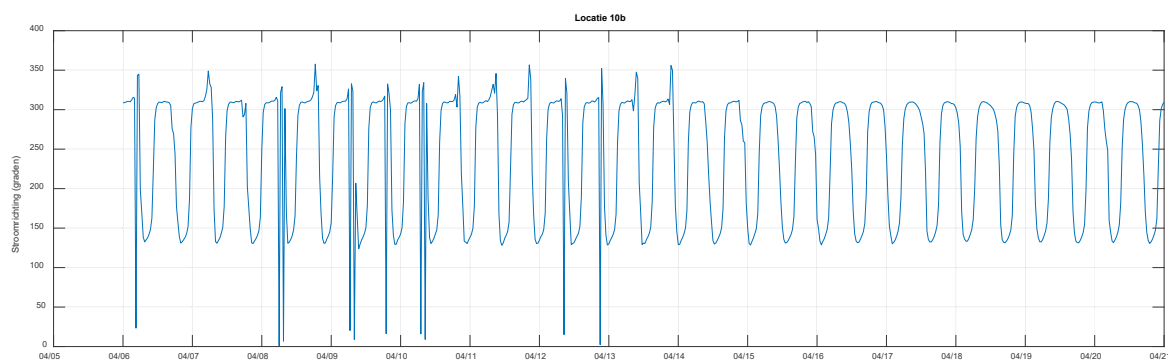
Figuur 36 – Locatie 10a - Stroomsnelheid (m/s)



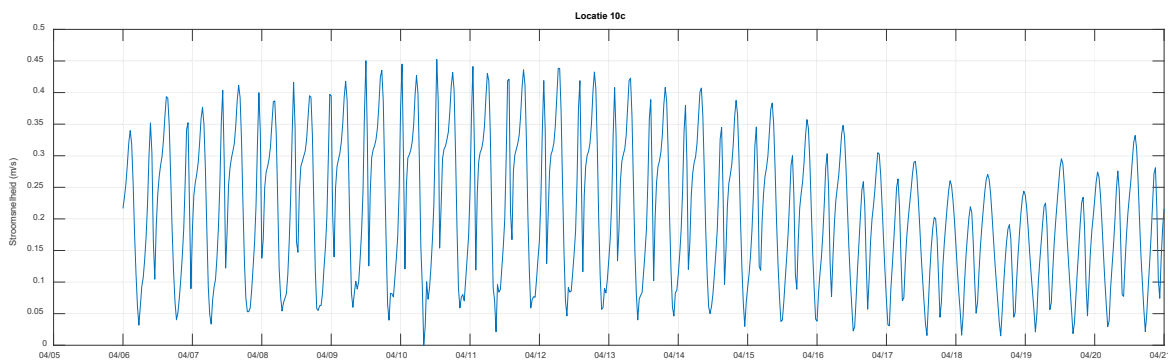
Figuur 37 – Locatie 10a - Stroomrichting (graden)



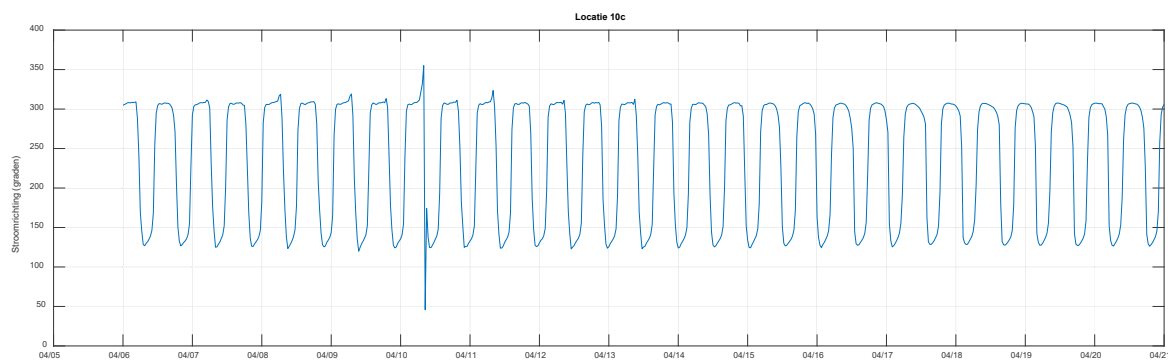
Figuur 38 – Locatie 10b - Stroomsnelheid (m/s)



Figuur 39 – Locatie 10b - Stroomrichting (graden)



Figuur 40 – Locatie 10c - Stroomsnelheid (m/s)



Figuur 41 – Locatie 10c - Stroomrichting (graden)

Bijlage 2 Figuren morfologische trends

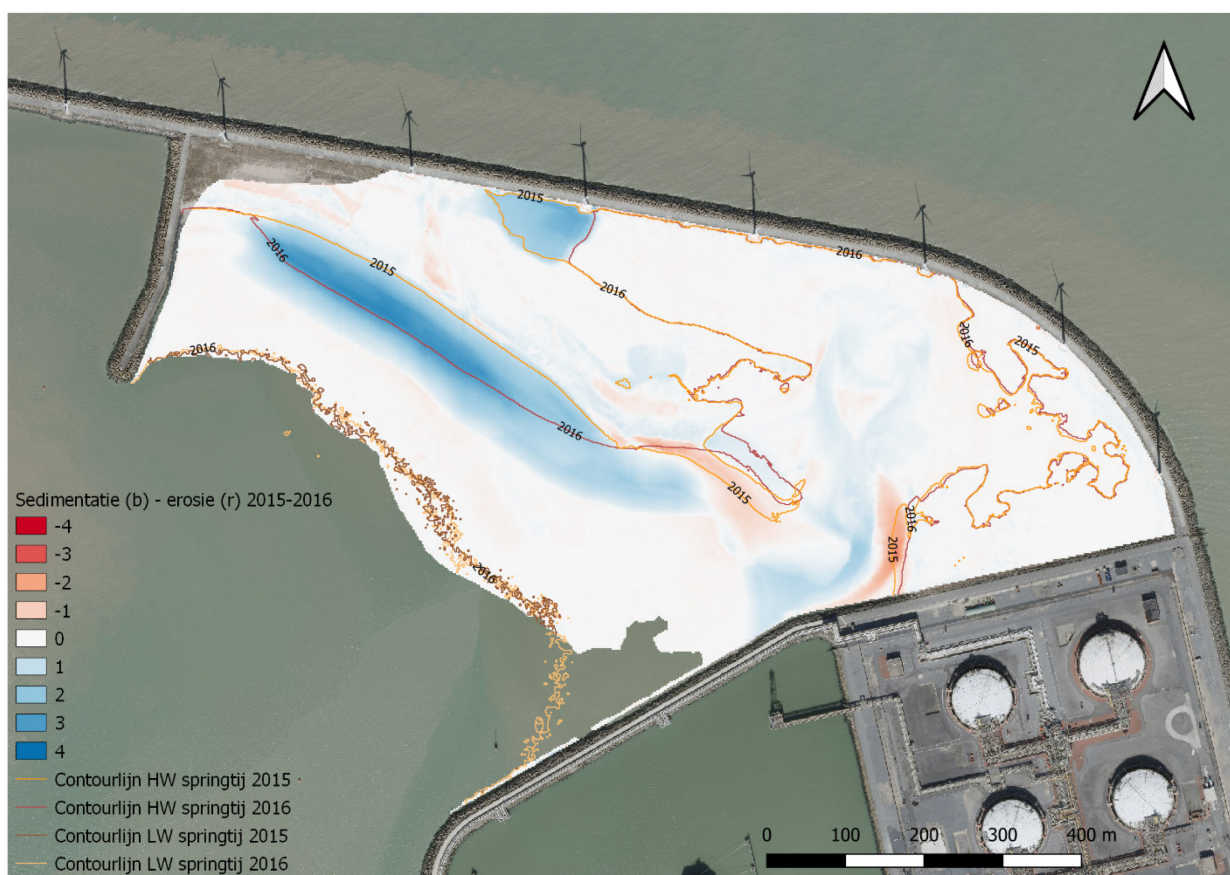
Lidar 2012-2022



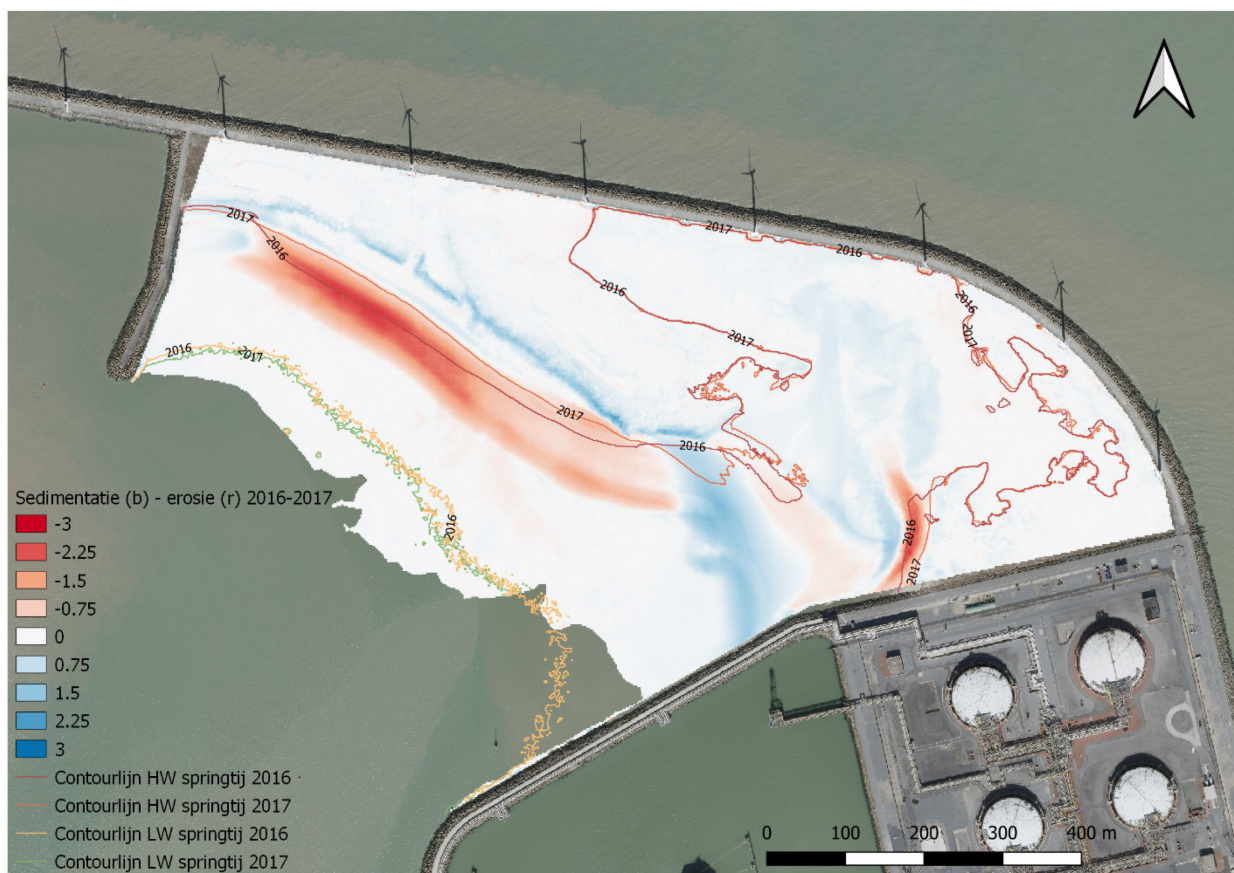
Figuur 42 – LIDAR opname voorjaar 2012



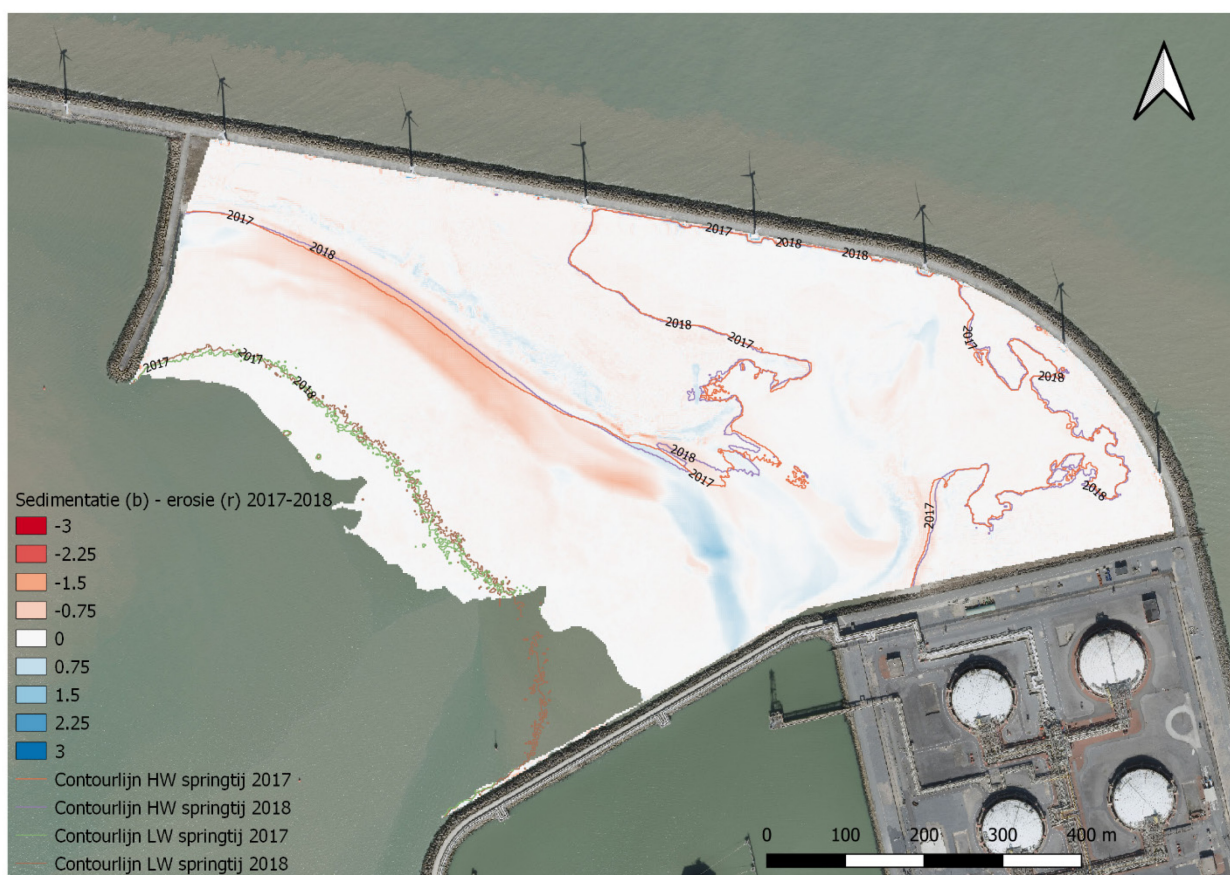
Figuur 43 – Lidaropname voorjaar 2015 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2012 (onder). De blauwe zone in de onderste figuur is de suppletie van 2013 in de oostelijke hoek tegen de dam met de Fluxys terreinen.



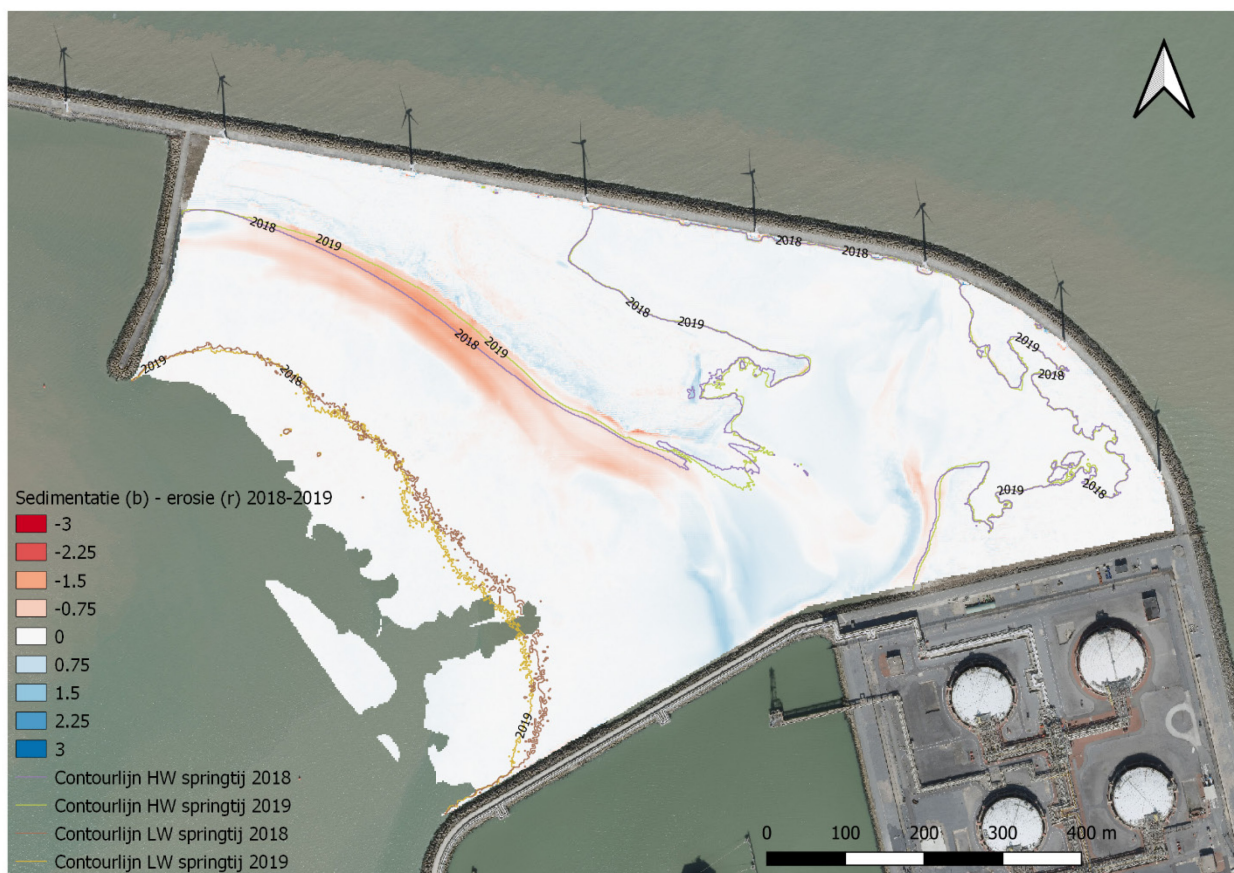
Figuur 44 – Lidaropname voorjaar 2016 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2015 (onder). Suppleties tegen de hoogwaterlijn langs de ZW flank en opvulling van de put centraal tegen de havendam zijn duidelijk zichtbaar.



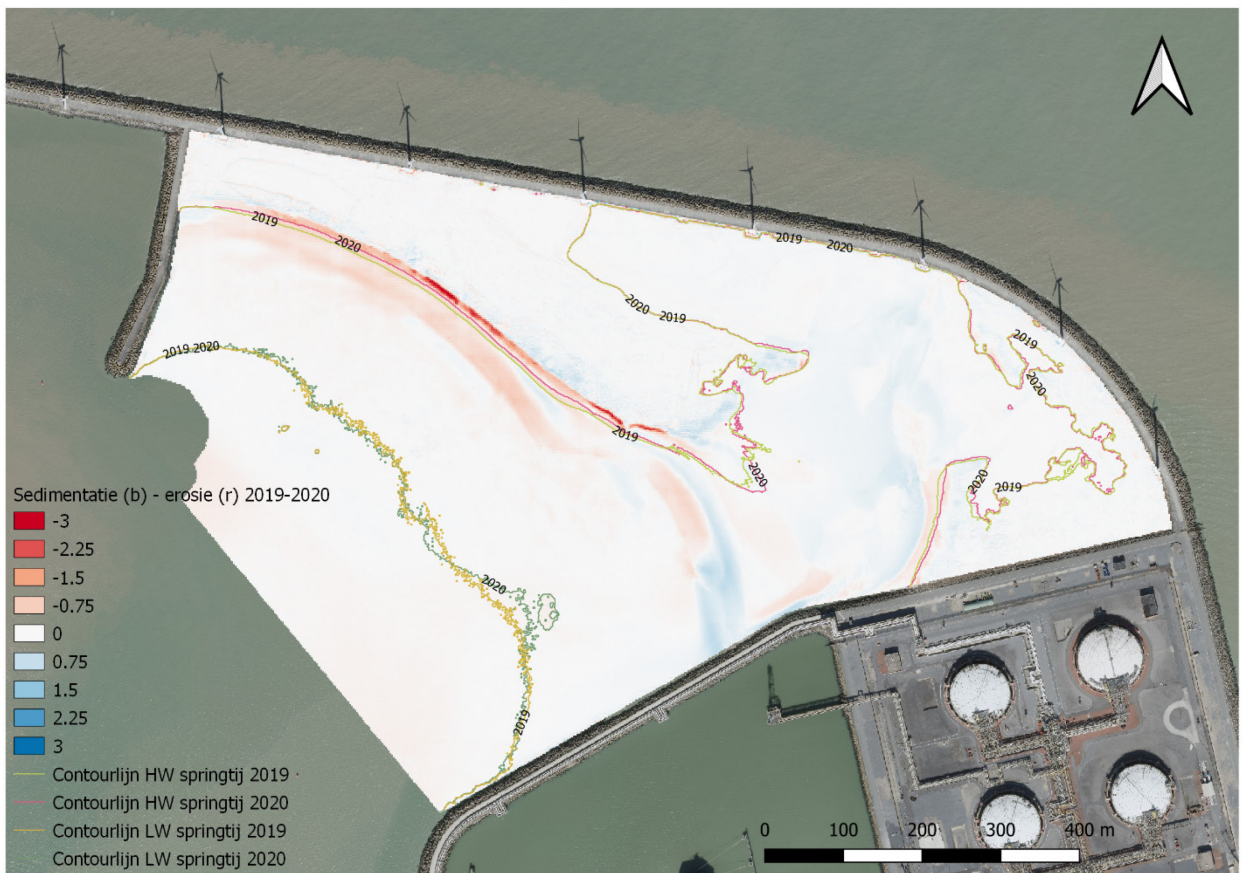
Figuur 45 –Lidaropname najaar 2017 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2016 (onder)



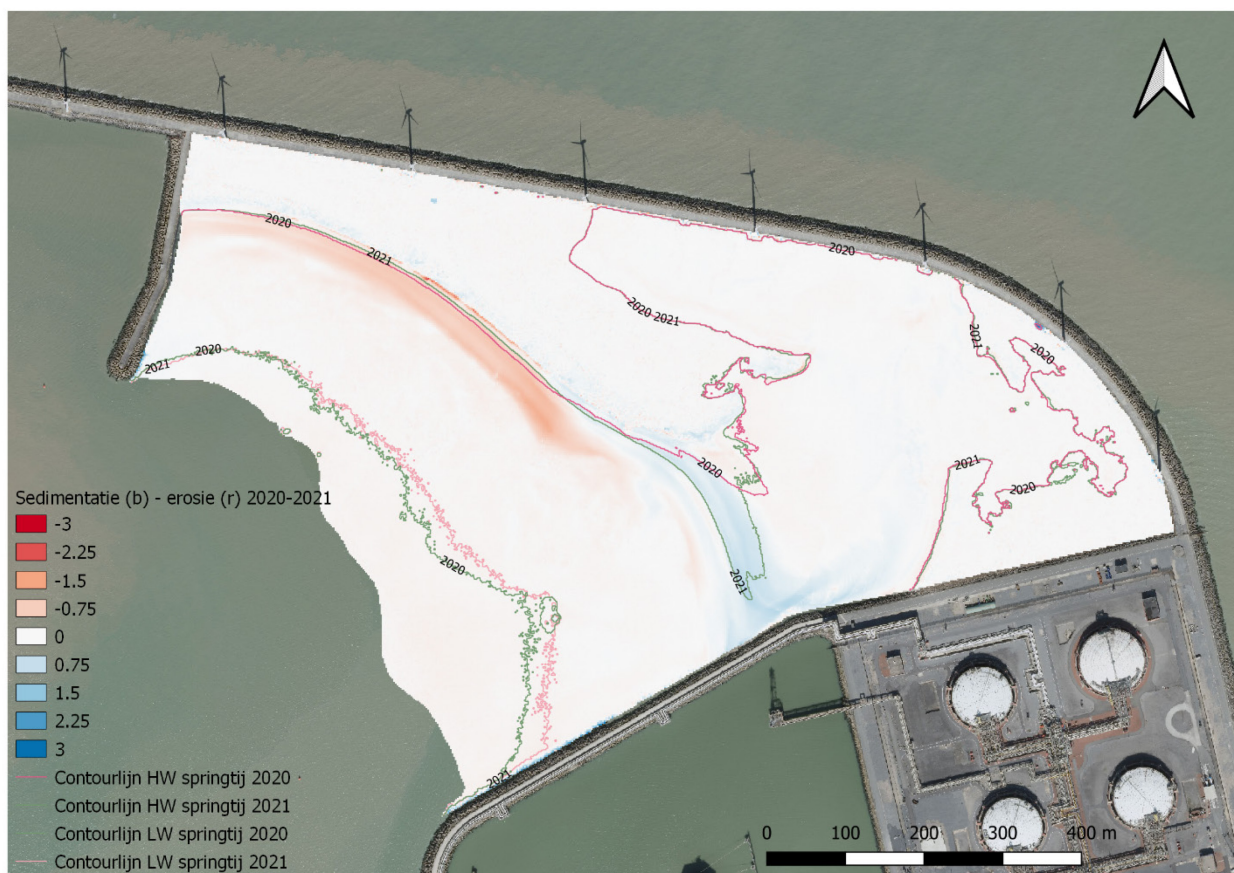
Figuur 46 – Lidaropname voorjaar 2018 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2017 (onder)



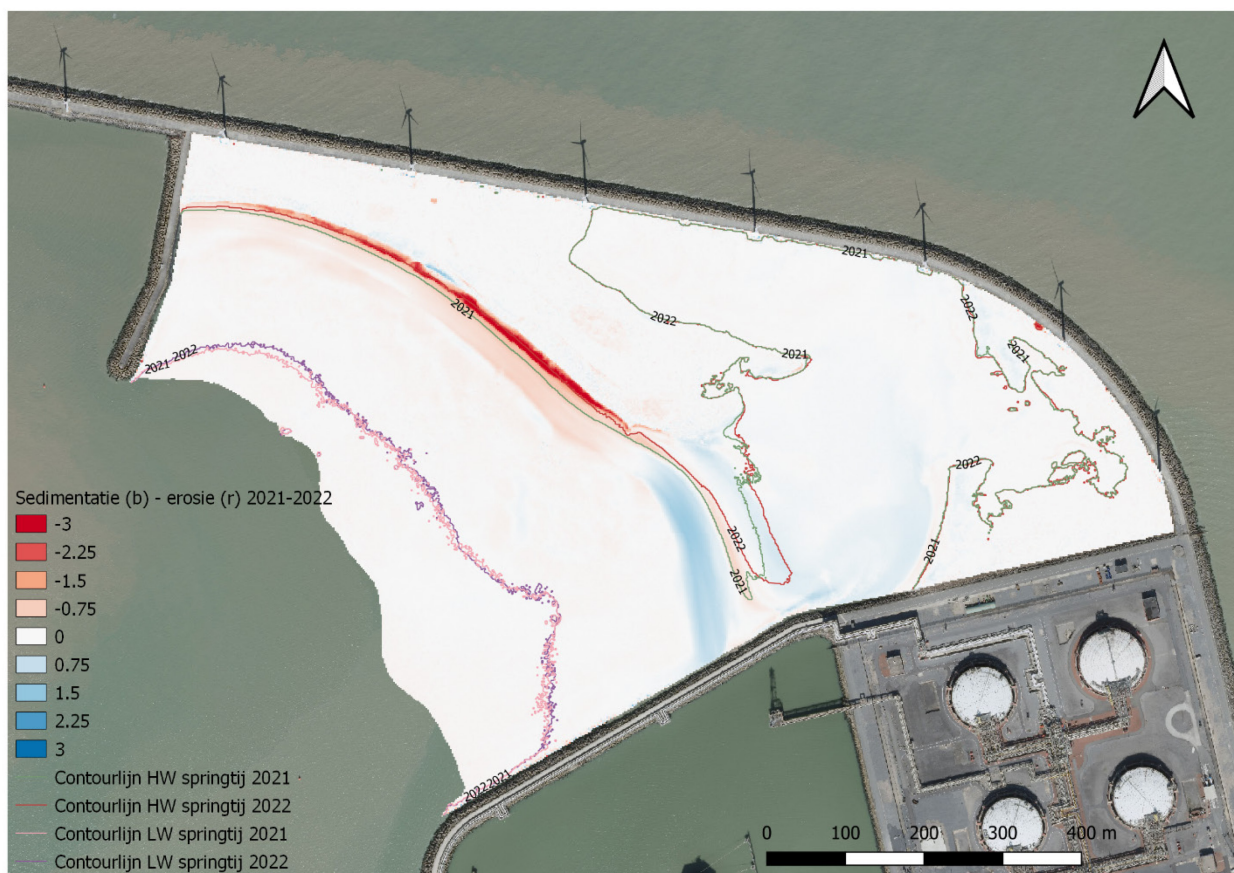
Figuur 47 – Lidaropname voorjaar 2019 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2018 (onder)



Figuur 48 – Lidaropname voorjaar 2020 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2019 (onder)

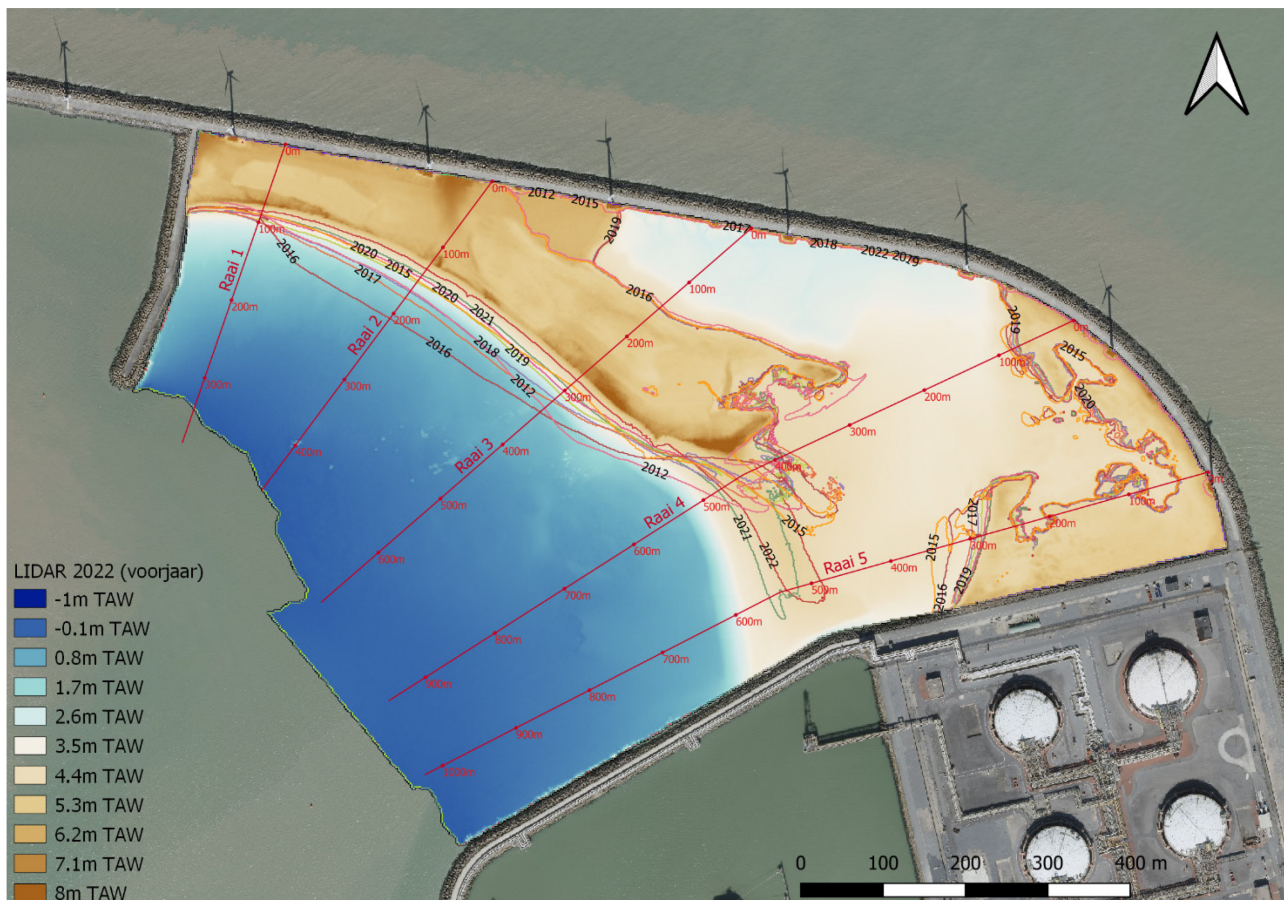


Figuur 49 – Lidaropname voorjaar 2021 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2020 (onder)

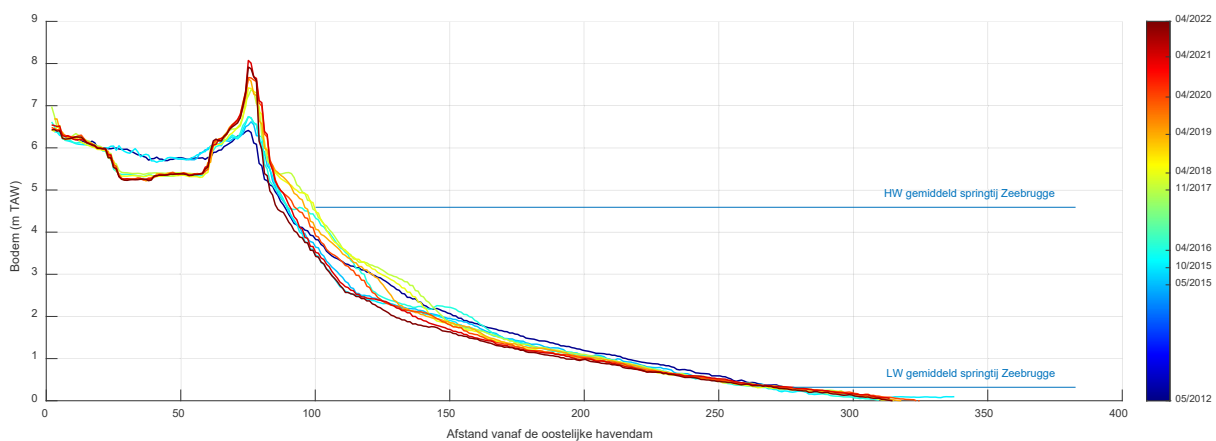


Figuur 50:Lidaropname voorjaar 2022 (boven), sedimentatie-erosie ten opzichte van vorige opname in 2021 (onder)

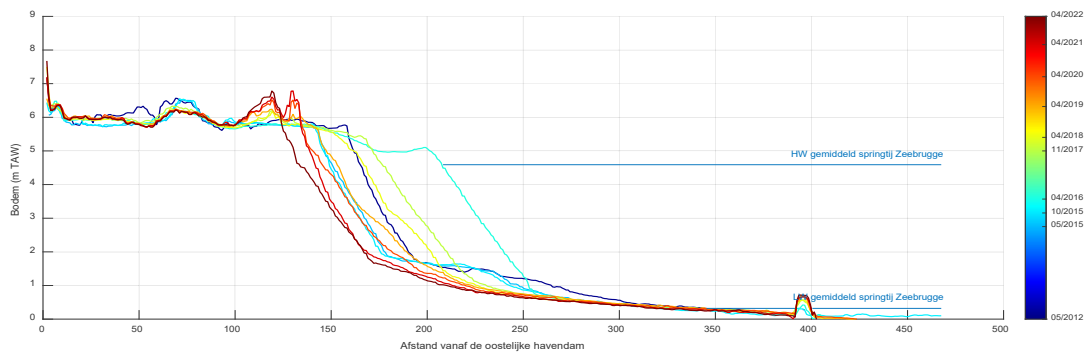
Bodemprofielen



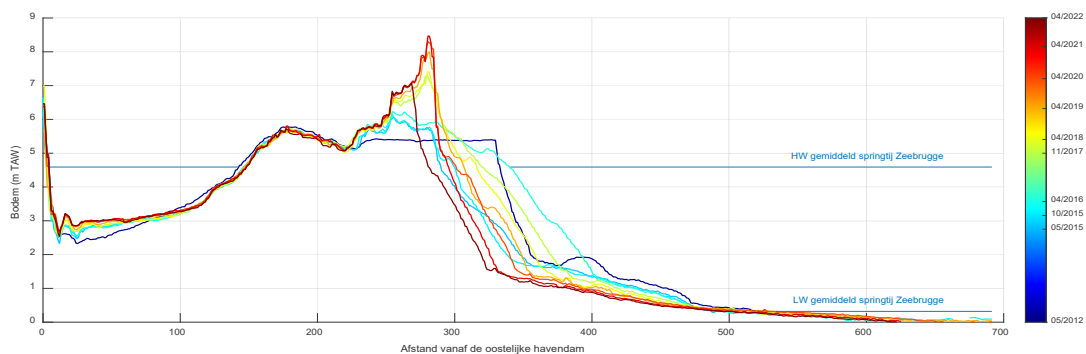
Figuur 51 – Locaties van de raaien, de contourlijnen zijn de hoogwaterlijnen voor de verschillende jaren



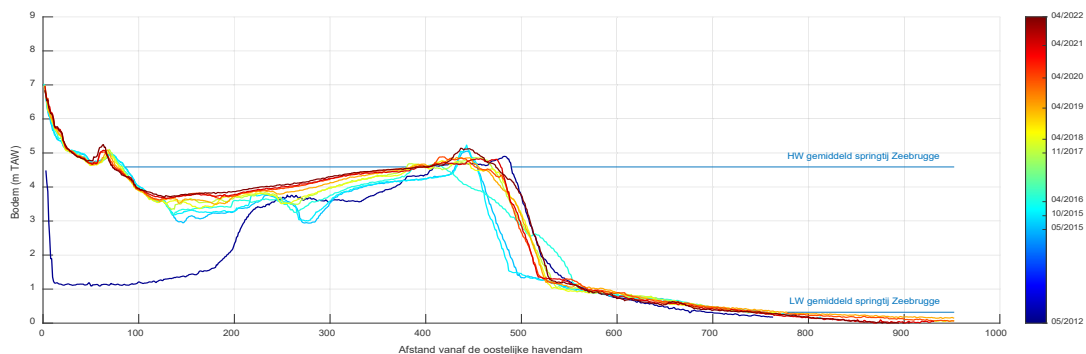
Figuur 52 – Evolutie bodemprofiel raai 1, 2012-2022



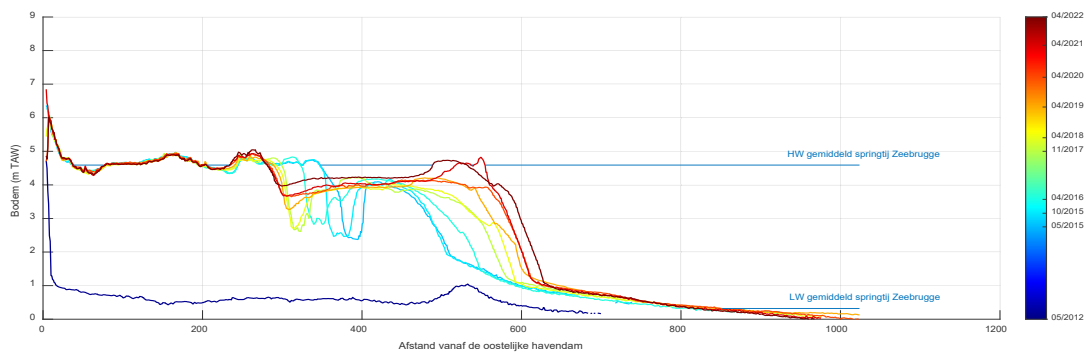
Figuur 53 – Evolutie bodemprofiel raai 2, 2012-2022



Figuur 54 – Evolutie bodemprofiel raai 3, 2012-2022



Figuur 55 – Evolutie bodemprofiel raai 4, 2012-2022

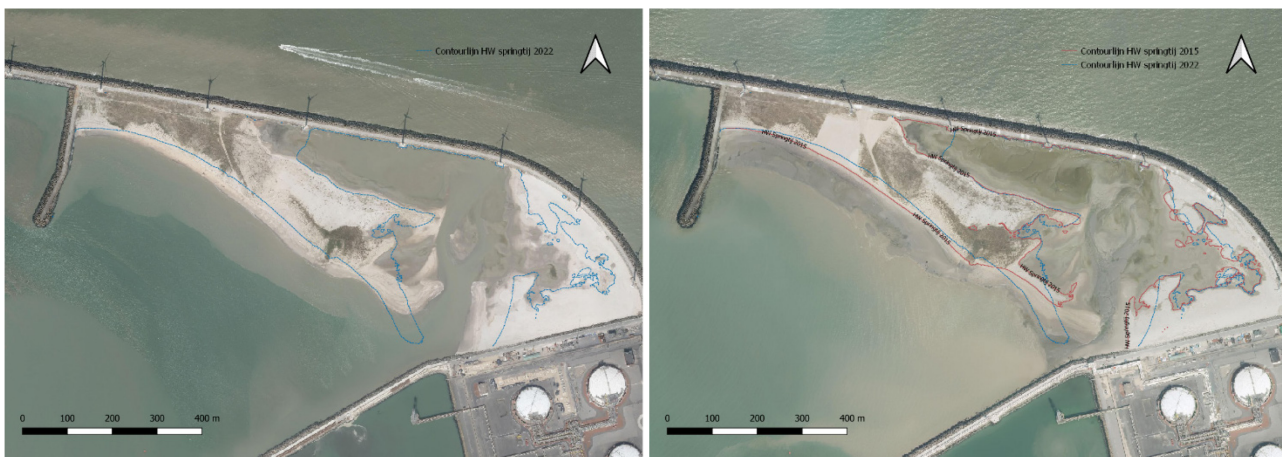


Figuur 56 – Evolutie bodemprofiel raai 5, 2012-2022

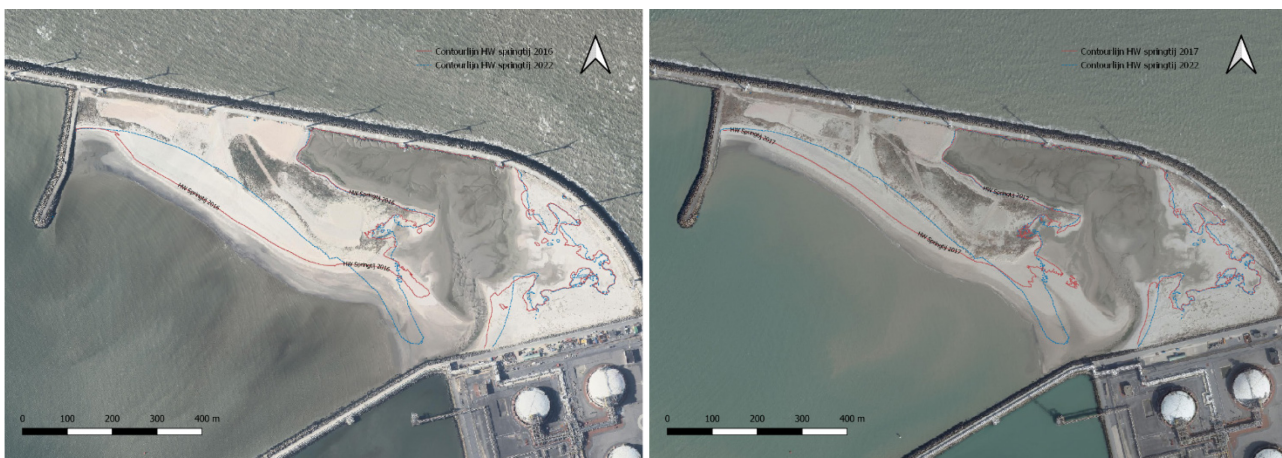
Satellietfoto's



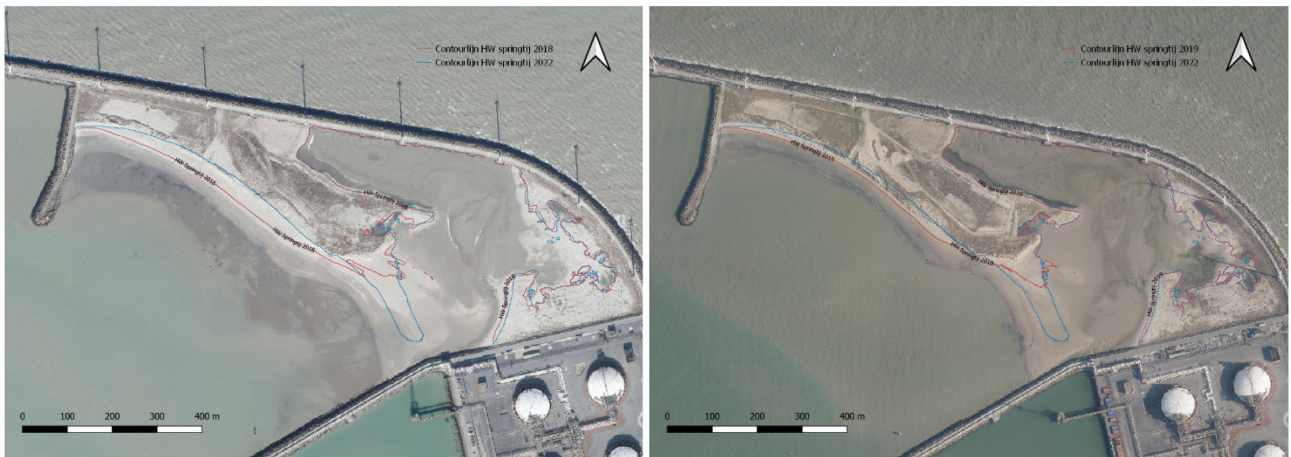
Figuur 57 – Luchtfoto's sterneneiland 2012-2013



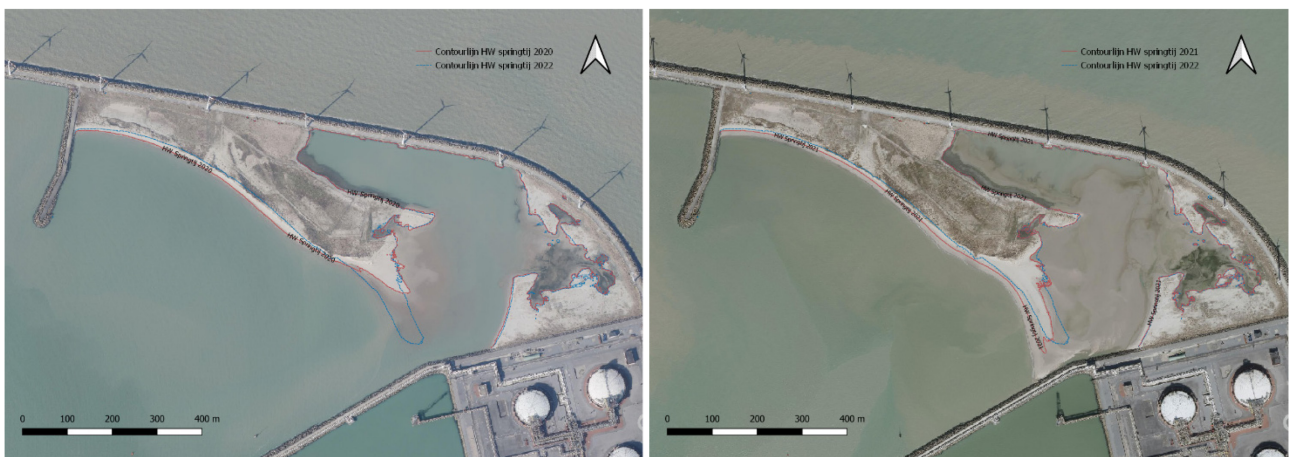
Figuur 58 – Luchtfoto's sterneneiland 2014-2015



Figuur 59 – Luchtfoto's sterneneiland 2016-2017



Figuur 60 – Luchtfoto's sterneneiland 2018-2019



Figuur 61 – Luchtfoto's sterneneiland 2020-2019



Figuur 62 – Luchtfoto's sterneneiland 2022

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be