



Vlaanderen
is wetenschap

15_068_1
WL rapporten

Modellering Vlaamse Baaien

Deelrapport 1: Hydrodynamische Modellering Scenario's Oostkust

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be



Modellering Vlaamse Baaien

Deelrapport 1: Hydrodynamische Modellering Scenario's Oostkust

De Maerschalk, B.;Renders, D.;Vanlede, J.;Gourgue, O.;Willems, M.;Verwaest, T.;Mostaert, F.

Oktober 2017

WL2017R15_068_1

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Maerschalc, 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.






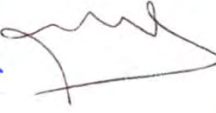
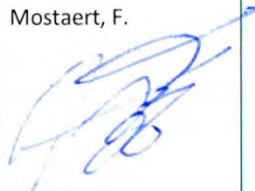
Foto op voorpagina. copyright MOW – afdeling Maritieme Toegang

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

| | | | |
|-----------------|--|--|---|
| Titel: | Modellering Vlaamse Baaien: Deelrapport 1: Hydrodynamische Modellering Scenario's Oostkust | | |
| Opdrachtgever: | Vlaams Nederlands Scheldecommissie (VNSC) | Ref.: | WL2017R15_068_1 |
| Keywords (3-5): | Vlaamse Baaien, Toegankelijkheid Zeebrugge, Estuaire vaart | | |
| Tekst (p.): | 41 | Bijlagen (p.): | 26 |
| Vertrouwelijk: | <input type="checkbox"/> Ja | Uitzondering: | <input type="checkbox"/> Opdrachtgever |
| | | | <input type="checkbox"/> Intern |
| | | | <input type="checkbox"/> Vlaamse overheid |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Nee | <input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar | |

Goedkeuring

| Auteur | Revisor | Projectleider | Coördinator Studie & Advies | Afdelingshoofd |
|--|--|--|--|---|
| De Maerschack, B. | Vanlede, J. | De Maerschack, B. | Verwaest, T. | Mostaert, F. |
|  |  |  |  |  |

Revisies

| Nr. | Datum | Omschrijving | Auteur(s) |
|-----|------------|------------------------------|--|
| 1.0 | 12/05/2016 | Conceptversie | Renders, D. |
| 2.0 | 22/07/2016 | Inhoudelijke revisie | Vanlede, J.; Gourgue, O.; Willems, M.; De Maerschack, B. |
| 3.0 | 07/09/2016 | Revisie opdrachtgever | Meersschant, Y. |
| 4.0 | 30/09/2016 | Definitieve versie | De Maerschack, B. |
| 5.0 | 21/10/2016 | Aanpassing confidentialiteit | De Maerschack, B. |
| 6.0 | 20/06/2017 | Aanpassing opdrachtgever | De Maerschack, B. |

Abstract

In dit rapport worden de scenario's die passen in het kader van Vlaamse Baaien en estuaire vaart mogelijk moeten maken hydrodynamisch beproefd aan de hand van een Telemac 3D-model. Het ontwerp van de eilanden is een iteratief proces waarbij er gezocht wordt naar een configuratie die geen nadelige effecten heeft op de toegankelijkheid voor de Zeevaart, de stroming tussen de eilanden onderling en de oostelijke havendam zo laag mogelijk houdt en zo weinig mogelijk storende dwars- en langstroming langsheen het traject voor de estuaire vaart creëert.

Op basis van de simulaties werd scenario "E3" als potentieel meest succesvol weerhouden. Dit scenario bestaat uit een lang eiland in combinatie met een geleidedam tussen het eiland en de oostelijke havendam. Binnen de havendammen is een kanaal voorzien voor estuaire vaart langs de oostelijke havendam om de bestaande LNG infrastructuur de mogelijkheid te bieden in de toekomst verder uit te breiden. Dit scenario dient in de toekomst verder geanalyseerd te worden naar lokaal golfklimaat, morfologische respons en effecten op kustveiligheid en het Zwin.

INHOUDSTAFEL

| | |
|---|-----|
| Inhoudstafel..... | I |
| Lijst van de tabellen..... | II |
| lijst van de figuren | III |
| 1 Inleiding | 1 |
| 2 Modelbeschrijving | 2 |
| 3 Modelresultaten | 8 |
| 3.1 Huidige situatie..... | 8 |
| 3.2 Het effect van de kust- en havenvorm | 14 |
| 3.3 Zoekzone vooruitgeschoven zeeeringslinie..... | 21 |
| 3.4 Estuaire vaart..... | 24 |
| 3.5 Scenarioanalyse | 25 |
| 3.5.1 Beschrijving van de scenario's..... | 25 |
| 3.5.2 Stroming Pas van Zand en Wielingen | 30 |
| 3.5.3 Stromingen rond de eilanden en langs het tracé voor estuaire vaart | 32 |
| 3.5.4 Scenario H1 – Pilooteiland..... | 38 |
| Conclusies..... | 40 |
| Referenties | 41 |
| Bijlage A: Rekenrooster verfijnd model..... | B1 |
| Bijlage B: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens vloed- en eb fase | B2 |
| Bijlage C: Dwarsstroming langsheen vaartraject Pas van het Zand | B9 |
| Bijlage D: Langs en dwarsstroming langsheen het traject voor estuaire vaart..... | B20 |

LIJST VAN DE TABELLEN

| | |
|---|----|
| Tabel 1: RMSE en bias van de waterstanden op verschillende locaties in het modeldomein, vergelijking van het verfijnde model ten opzichte van het originele model | 6 |
| Tabel 2: RMSE en bias van de stroomsnelheden op verschillende locaties in het studiegebied, vergelijking van het verfijnde model ten opzichte van het originele model | 6 |
| Tabel 3: Gebruikte modelruns voor elke scenario | 8 |
| Tabel 4: Maximale dwarscomponent (dieptegemiddeld) langsheen het vaartraject Pas van het Zand en spervenster (per 24u) op basis van maximaal toegelaten dwarsnelheden 2 en 1,5 knoop, springtij. | 30 |
| Tabel 5: Beoordeling traject estuaire vaart..... | 32 |
| Tabel 6: Maximale dwars- en langsstroming [kn] langsheen het vaartraject estuaire vaart..... | 32 |

LIJST VAN DE FIGUREN

| | |
|--|----|
| Figuur 1: Modeldomein en bathymetrie van het gebruikte 3D-hydrodynamische model | 2 |
| Figuur 2: Rekenrooster van het gebruikte IMDC-model. | 3 |
| Figuur 3: Bathymetrie en rekenrooster van het IMDC-model in het studiegebied van Vlaamse Baaien. | 4 |
| Figuur 4: Bathymetrie en rekenrooster van het lokaal verfijnd model en bathymetrie in het studiegebied van Vlaamse Baaien. | 5 |
| Figuur 5: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloedfase | 9 |
| Figuur 6: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloedfase vlak voor en in het CDNB..... | 10 |
| Figuur 7: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens ebfase | 10 |
| Figuur 8: waterstand (mNAP) en, stroomsnelheid (m/s) voor de haveningang van Zeebrugge in de huidige situatie | 11 |
| Figuur 9: Dwarsstroming (dieptegemiddeld, kn) op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. | 11 |
| Figuur 10: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand..... | 12 |
| Figuur 11: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand..... | 13 |
| Figuur 12: Spervenster op basis van 10 meter diepgang (<i>nautical forces equivalent</i>) uit Dujardin et al. (2010) (Delft3D) | 13 |
| Figuur 13: Bathymetrie 1979 (mNAP) | 14 |
| Figuur 14: Maximale dieptegemiddelde stroming (m/s) tijdens vloedfase springtij voor de uitbouw van de buitenhaven (1979) | 15 |
| Figuur 15: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, 1970...16 | |
| Figuur 16: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, 1979 | 17 |
| Figuur 17: Vlaamse Baaien scenario Kustboog, bathymetrie in meter NAP. | 18 |
| Figuur 18: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (links) en ebfase (rechts), springtij – Scenario “gladde kust” (interval contourlijnen 0,5m/s)..... | 19 |
| Figuur 19: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Scenario “gladde kust” | 19 |
| Figuur 20: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Scenario “gladde kust” | 20 |
| Figuur 21: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij | 20 |
| Figuur 22: Scenario ZETA_1, A: Bathymetrie, B: stroommaxima tijdens de vloed, C: stroomminimum tijdens de eb (bron: IMDC (2015b)). | 21 |
| Figuur 23: Scenario's I - aaneengesloten duinengordel. | 22 |
| Figuur 24: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) Vlaamse Baaien scenario duinengordel I1 (links) en I2 (rechts) tijdens springtij..... | 22 |

| | |
|--|----|
| Figuur 25: Absoluut verschil in maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid, Vlaamse Baaien scenario duinengordel I1 (links) en I2 (rechts) - Huidige Toestand Belgische Kust | 23 |
| Figuur 26: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel..... | 23 |
| Figuur 27: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Vlaamse Baaien scenario I2 - Duinengordel..... | 24 |
| Figuur 28: Schematisch overzicht van de mogelijke ingrepen Vlaamse Baaien ter hoogte van de Oostkust..... | 25 |
| Figuur 29: Huidige bathymetrie en bathymetrie voor de scenario's 0, A B en C. | 27 |
| Figuur 30: Bathymetrie voor de scenario's C1 tot E3..... | 28 |
| Figuur 31: Bathymetrie voor de scenario's E4 tot H1. | 29 |
| Figuur 32: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. Volle lijnen: Vlaamse Baaien scenario A, streepjeslijnen: huidige toestand..... | 31 |
| Figuur 33: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. Volle lijnen: Vlaamse Baaien scenario E4, streepjeslijnen: huidige toestand | 31 |
| Figuur 34: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) in en voor het CDNB tijdens springtij - Vlaamse Baaien scenario 0..... | 34 |
| Figuur 35: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij springtij eb fase, scenario B (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)..... | 35 |
| Figuur 36: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij vloed (links) en bij eb (rechts) - Vlaamse Baaien scenario D (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie) | 36 |
| Figuur 37: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij vloed (links) en bij eb (rechts) - Vlaamse Baaien scenario E3, de streepjeslijn geeft het traject voor estuaire vaart weer. (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)..... | 36 |
| Figuur 38: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E3..... | 37 |
| Figuur 39: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E4 (interval contourlijnen 0,5m/s) | 37 |
| Figuur 40: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E4..... | 38 |
| Figuur 41: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens springtij - Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (interval contourlijnen 0,5m/s) | 39 |
| Figuur 42: Absoluut verschil in Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland - Huidige Toestand | 39 |
| Figuur 43: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Huidige toestand (interval contourlijnen 0,5m/s)..... | B2 |
| Figuur 44: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - 1979 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B2 |
| Figuur 45: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario Kustboog (interval contourlijnen 0,5m/s) | B2 |
| Figuur 46: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario 0 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B3 |

| | |
|--|-----|
| Figuur 47: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario A (interval contourlijnen 0,5m/s) | B3 |
| Figuur 48: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario A1 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B3 |
| Figuur 49: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario B (interval contourlijnen 0,5m/s) | B4 |
| Figuur 50: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario C (interval contourlijnen 0,5m/s) | B4 |
| Figuur 51: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario C1 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B4 |
| Figuur 52: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario D (interval contourlijnen 0,5m/s) | B5 |
| Figuur 53: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E (interval contourlijnen 0,5m/s)..... | B5 |
| Figuur 54: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E1 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B5 |
| Figuur 55: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E2 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B6 |
| Figuur 56: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E3 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B6 |
| Figuur 57: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E4 (interval contourlijnen 0,5m/s) | B6 |
| Figuur 58: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario F1 (interval contourlijnen 0,5m/s)..... | B7 |
| Figuur 59: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (interval contourlijnen 0,5m/s)..... | B7 |
| Figuur 60: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (interval contourlijnen 0,5m/s) | B7 |
| Figuur 61: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario I2 - Duinengordel (interval contourlijnen 0,5m/s) | B8 |
| Figuur 62: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand..... | B9 |
| Figuur 63: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, 1970 | B10 |
| Figuur 64: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario Kustboog (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... | B11 |
| Figuur 65: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario O (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... | B11 |
| Figuur 66: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario A (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... | B12 |
| Figuur 67: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario A1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... | B12 |
| Figuur 68: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario B (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... | B13 |

Figuur 69: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario C (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B13

Figuur 70: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario C1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B14

Figuur 71: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario D (links) en verschil met huidige situatie (rechts)..... B14

Figuur 72: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B15

Figuur 73: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B15

Figuur 74: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E2 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B16

Figuur 75: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E3 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B16

Figuur 76: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E4 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B17

Figuur 77: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario F1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B17

Figuur 78: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B18

Figuur 79: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B18

Figuur 80: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (links) en verschil met huidige situatie (rechts). B19

Figuur 81: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario 0..... B20

Figuur 82: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario A B20

Figuur 83: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario A1 B21

Figuur 84: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario B..... B21

Figuur 85: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario C..... B22

Figuur 86: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario C1..... B22

Figuur 87: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario D B23

Figuur 88: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E B23

Figuur 89: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E1..... B24

Figuur 90: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E2..... B24

Figuur 91: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E3..... B25

Figuur 92: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E4..... B25

Figuur 93: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario F1..... B26

1 INLEIDING

Om de Belgische kust op lange termijn, tot 2100, en op middellange termijn, tot 2050, te beschermen tegen de effecten van de Klimaatopwarming en zeespiegelstijging heeft de Vlaamse overheid het project Vlaamse Baaien geïnitieerd. Het masterplan 'Vlaamse Baaien' werd op 9 mei 2014 door minister Crevits voorgesteld aan de Vlaamse regering.

Het Project Vlaamse Baaien wil ervoor zorgen dat de Belgische kust bestand is tegen de veranderende klimaatomstandigheden. De kust moet bestand zijn tegen stormen en overstromingen, maar ook aantrekkelijk blijven, de economie kansen geven en zorgen voor duurzame energie.

Voor de bescherming van de Oostkust, Zeebrugge tot Cadzand, werd al in 2014 de aanleg van een aantal eilanden vooropgesteld. De eilanden beschermen de kust tegen stormen. Tevens wordt er de mogelijkheid gecreëerd tot het aanleggen van een luwe vaarroute die Zeebrugge toegankelijk moet maken voor estuaire vaart.

In dit rapport wordt de impact van de eilanden op de stroming in de omgeving van Zeebrugge en langs het traject voor de estuaire vaart onderzocht. Het ontwerp van de eilanden-configuratie is een iteratief proces. Het ontwerp werd geoptimaliseerd op basis van volgende punten:

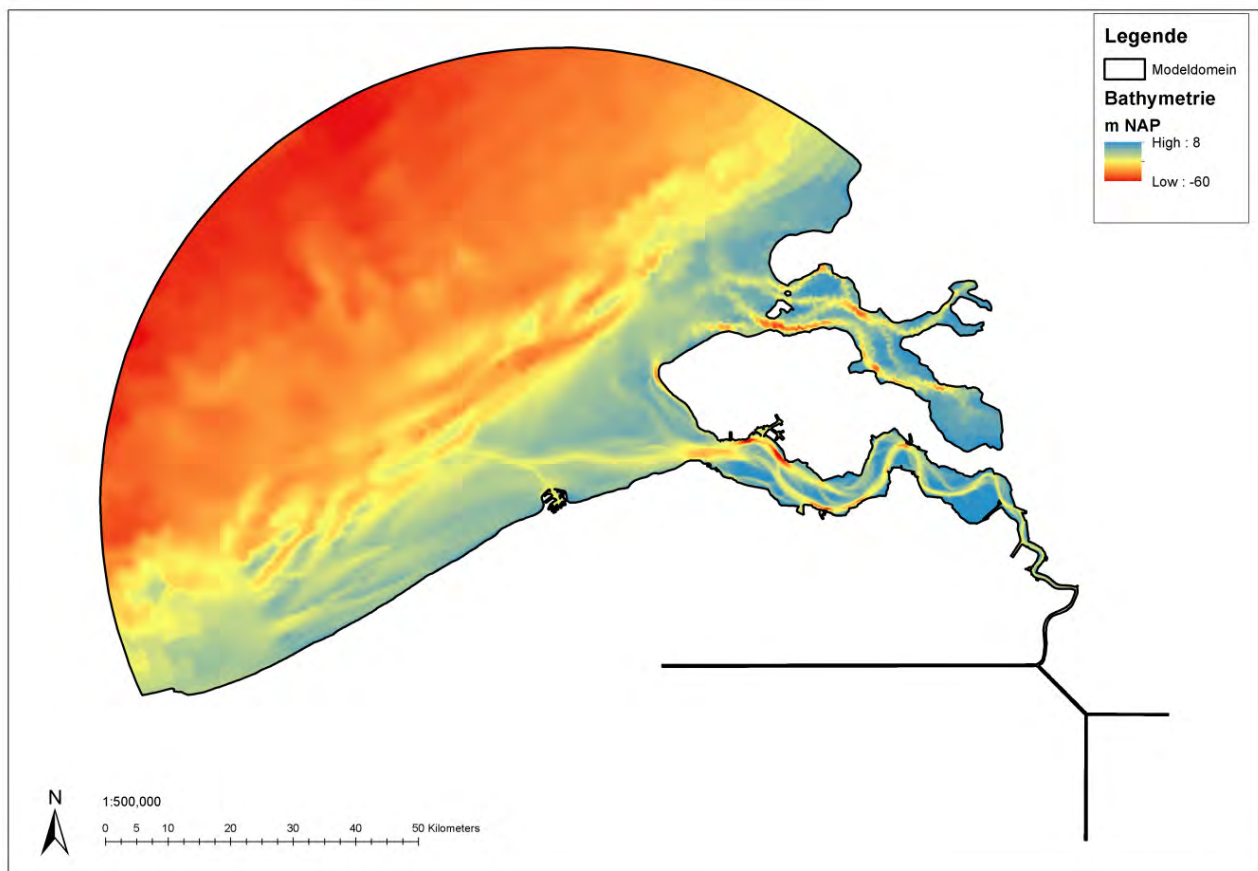
- Geen negatieve en indien mogelijk positieve effecten voor de toegankelijkheid van Zeebrugge voor de Zeevaart via de vaargeul Pas van het Zand
- De stroming tussen de eilanden en de oostelijke havendam zo laag mogelijk.
- Dwars en langsstromingen langsheen het traject voor estuaire vaart zo laag mogelijk.

Voor de hydrodynamische simulaties werd een Telemac 3D model gebruikt. Dit model werd oorspronkelijk gebouwd en afgeregeld door IMDC in opdracht van afdeling Maritieme Toegang.

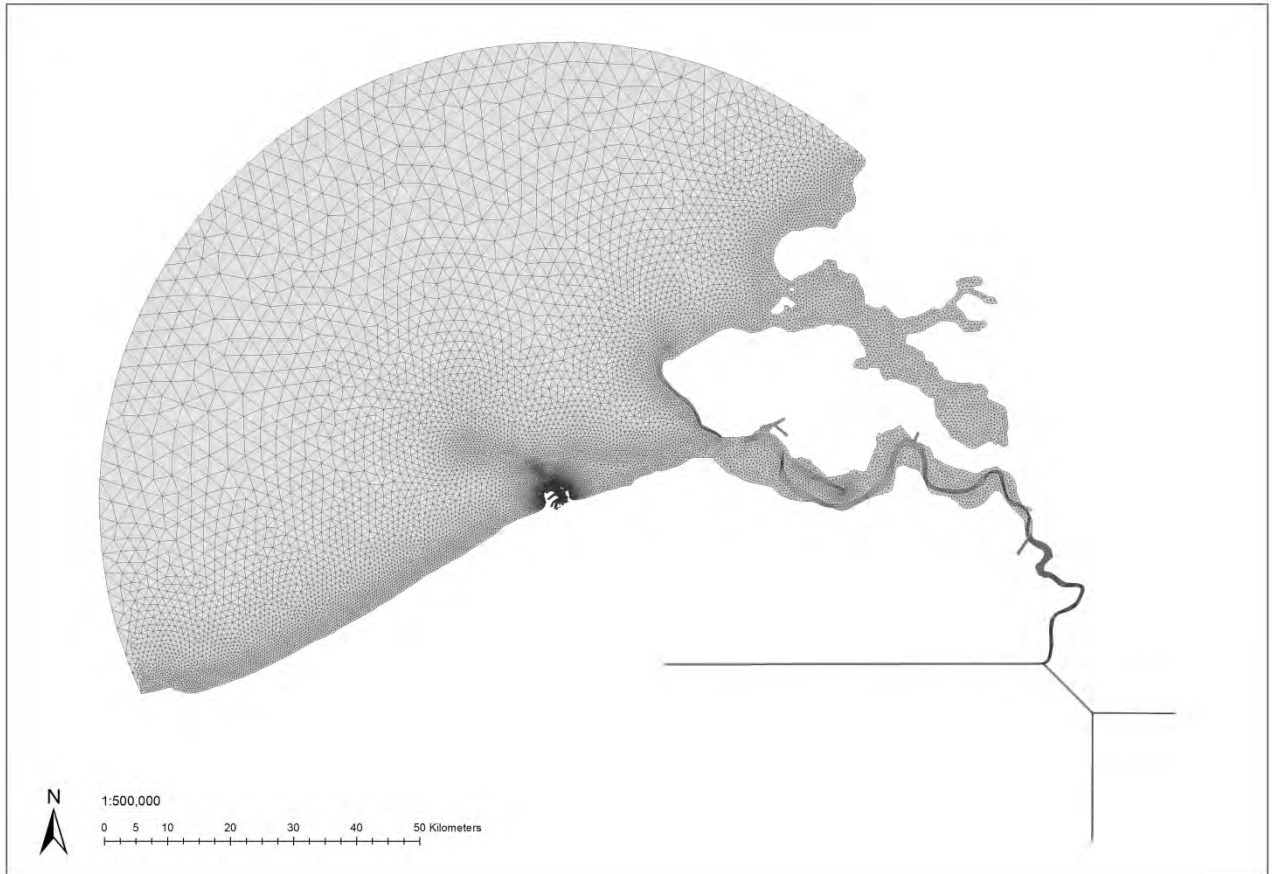
Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het gebruikte model. In hoofdstuk 3 worden de modelresultaten besproken voor de huidige stroming in en rond Zeebrugge, wordt het concept *gladde kustboog* en *zoekzone voor de vooruitgeschoven zeeeringslinie* geïntroduceerd, en worden de scenario's met het oog op estuaire vaart besproken. Tenslotte wordt het scenario van een pilooteiland besproken.

2 MODELBESCHRIJVING

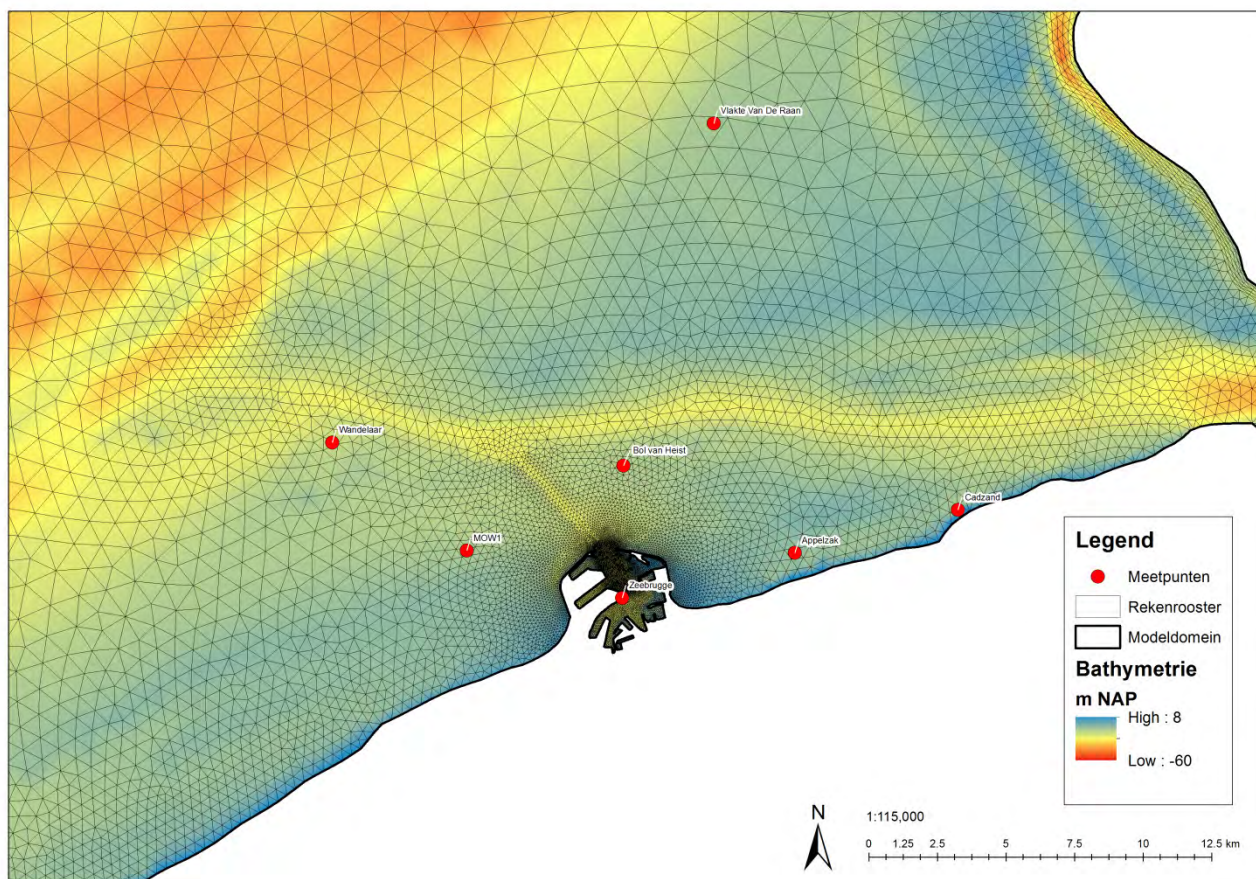
Voor de hydrodynamische simulaties wordt een ongestructureerd TELEMAC 3D model gebruikt. Het modeldomein beslaat de Zuidelijke Noordzee van Duinkerke tot Stellendam en bevat de Oosterschelde, Westerschelde en Beneden Zeeschelde. De verschillende tijgebonden bovenstroomse armen van de Schelde zijn vanaf de Rupelmonding geschematiseerd opgenomen in het model. De zeewaartse modelrand is semi-cirkelvormig. De resolutie in het model schommelt tussen ca. 15 m in de meest gedetailleerde gebieden tot ca. 3-4 km aan de zeewaartse rand van het model. Het model telt 23.730 rekenpunten en het horizontale referentiesysteem is het Rijksdriehoekstelsel (RD). Het verticale referentiesysteem is NAP. Het modeldomein en de bathymetrie worden weergegeven in Figuur 1. In Figuur 2 wordt de resolutie in het volledige modeldomein weergegeven. Een detail van het model ter hoogte van Zeebrugge wordt getoond in Figuur 3. Een uitgebreide beschrijving van het model en de kalibratie ervan kan men terugvinden in IMDC (2013, 2015a).



Figuur 1: Modeldomein en bathymetrie van het gebruikte 3D-hydrodynamische model

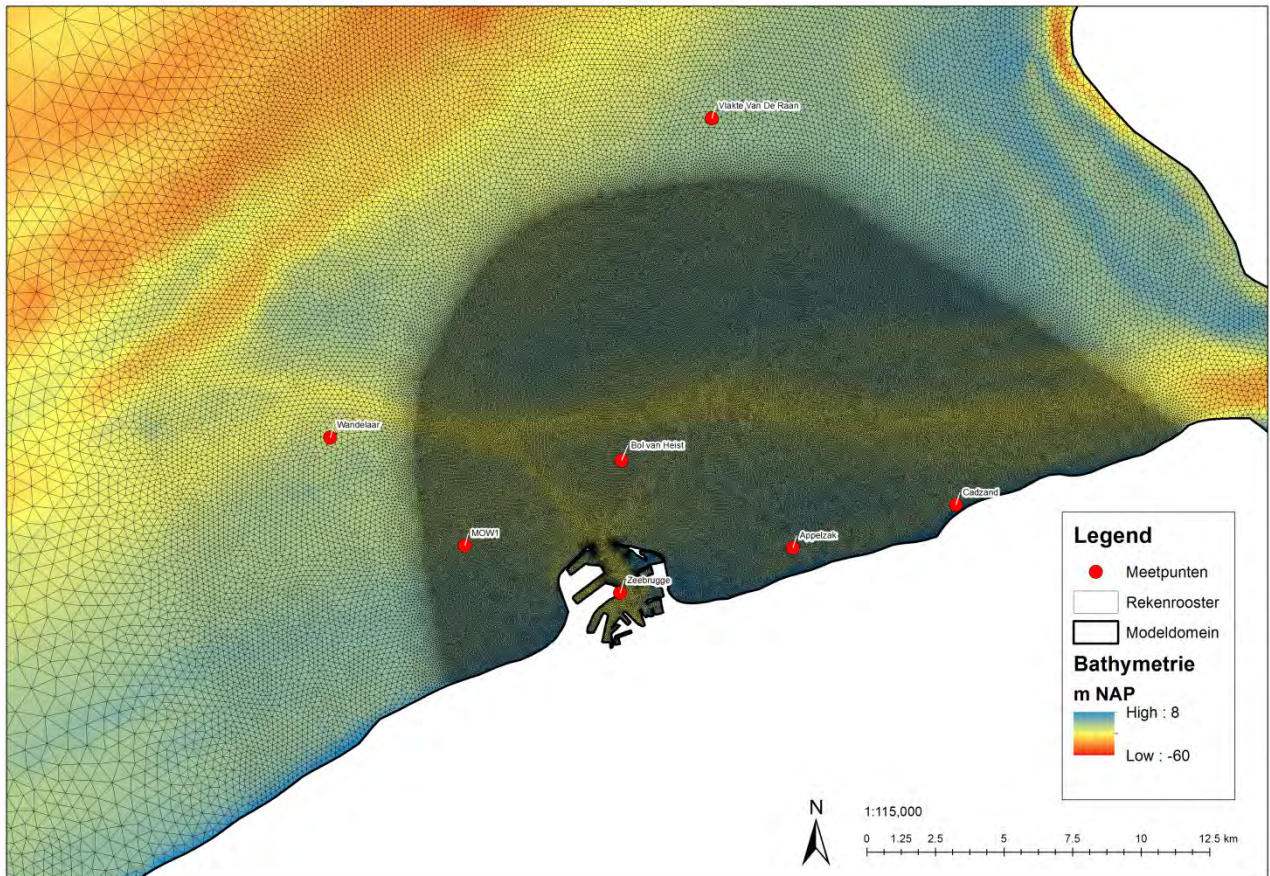


Figuur 2: Rekenrooster van het gebruikte IMDC-model.



Figuur 3: Bathymetrie en rekenrooster van het IMDC-model in het studiegebied van Vlaamse Baaien. De controlepunten worden ook weergegeven.

Het model heeft echter een te lage resolutie ter hoogte van de Scheldemonding en Zeebrugge om de effecten van de verschillende ontwikkelingsscenario's in kaart te brengen (zie Figuur 3). Daarom zijn voor deze studie het rekenrooster lokaal verfijnd tot 5 à 10 m in de haven van Zeebrugge en 20 m in een straal van ca. 4,5 km rond de haven, zie Figuur 4. Hierdoor neemt het aantal rekenpunten toe tot 310.607 punten. De Westerschelde wordt ook iets gedetailleerder weergegeven in het model. In bijlage 1 wordt het rekenrooster van het volledige verfijnde model weergegeven.



Figuur 4: Bathymetrie en rekenrooster van het lokaal verfijnd model en bathymetrie in het studiegebied van Vlaamse Baaien.

Wanneer we de waterstanden in het aangepaste model vergelijken met het originele model van IMDC, dan zien we dat op de Noordzee en voor de kust er verwaarloosbare verschillen optreden, zie Tabel 1. Opmerkelijk is dat ondanks de verschillen in het interessegebied rond Zeebrugge en de monding zeer klein zijn, de verfijning van het rooster in het mondingsgebied toch tot significante verschillen leidt opwaarts het Schelde estuarium.

Het effect van de lokale gridverfijning op de dieptegemiddelde stroomsnelheden in het interessegebied is weergegeven in Tabel 2. De afwijkingen zijn beperkt tot maximaal enkele centimeters per seconde.

Tabel 1: RMSE en bias van de waterstanden op verschillende locaties in het modeldomein, vergelijking van het verfijnde model ten opzichte van het originele model

| Meetlocatie | X (RD, m) | Y (RD, m) | RMSE (cm) | Bias (cm) |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Westhinder | -5018 | 381951 | 0.119 | -0.001 |
| Wandelaar | -7837 | 381062 | 0.2766 | 0.029 |
| MOW1 | -2928 | 377112 | 0.3075 | 0.0101 |
| Zeebrugge | 2747 | 375382 | 0.4588 | -0.187 |
| Bol van Heist | 2798 | 380220 | 0.7363 | -0.021 |
| Vlakte van de Raan | 6090 | 392702 | 0.4592 | -0.118 |
| Appelzak | 9052 | 377030 | 0.7689 | -0.0002 |
| Breskens | 28140 | 381739 | 3.0079 | -0.262 |
| Terneuzen | 45739 | 374347 | 3.7135 | 1.267 |
| Baalhoek | 65538 | 375997 | 6.9895 | 0.5296 |
| Liefkenshoek | 78177 | 368035 | 5.1076 | -0.415 |
| Boudewijnsluit | 81025 | 366245 | 4.9502 | -1.602 |
| Kallo | 79028 | 364848 | 5.09 | -1.609 |
| Antwerpen | 86029 | 360262 | 7.057 | -0.999 |

Tabel 2: RMSE en bias van de stroomsnelheden op verschillende locaties in het studiegebied, vergelijking van het verfijnde model ten opzichte van het originele model

| Meetlocatie | X (RD, m) | Y (RD, m) | RMSE (m/s) | bias (m/s) |
|----------------|-----------|-----------|------------|------------|
| MOW1 | -3011 | 376790 | 0.008 | -0.002 |
| Blankenberge | -3771 | 373250 | 0.011 | -0.001 |
| Wandelaar | -7954 | 380950 | 0.012 | -0.003 |
| Bol van Heist | 2639 | 380100 | 0.016 | -0.010 |
| Bol van Knokke | 9728 | 383100 | 0.031 | -0.022 |
| MOW6 | -50094 | 369180 | 0.001 | 3.8028E-05 |

De analyse van ontwikkelingsscenario's vereist per scenario een aanpassing aan (i) de bathymetrie, (ii) bodemruwheid en (iii) de geometrie van het rekenrooster. Hiertoe werden met behulp van GIS en Blue Kenue nieuwe rekenroosters, bathymetrieën en bodemruwheden aangemaakt die de scenariolay-out voorstellen. Deze aangepaste modellen werden vervolgens doorgerekend met dezelfde randvoorwaarden en parameters als bij de huidige situatie zodat de effecten op de waterstanden en getijstromingen duidelijk worden. De resultaten werden vervolgens verwerkt in Blue Kenue, ArcGIS, Python en Matlab. Merk op dat de bodemruwheid, die in hydrodynamische modellen gebruikt wordt als kalibratieparameter, enkel werd aangepast indien de havendammen van Zeebrugge verplaatst of verlengd werden. In het oorspronkelijke IMDC-model werd er immers een hogere ruwheid rond de havendammen toegepast.

Het model berekent de waterstanden en getijstromingen voor een periode van 20/4/2009 tot 30/4/2009. De analyse van de stromingen in dit rapport is gebaseerd op de periode van springtij van 28/4/2009 3:20 tot 29/4/2009 3:50.

3 MODELRESULTATEN

In dit hoofdstuk worden verschillende scenario's besproken. Deze scenario's zijn echter een selectie van meer dan 70 verschillende kleine aanpassingen die doorgevoerd zijn in het model. De wijzigingen in al deze verschillende modelruns zijn echter niet steeds relevant binnen dit rapport, omdat bijvoorbeeld de wijzigingen te klein of onvolledig zijn. In Tabel 3 wordt weergegeven welke modelruns gebruikt zijn in dit rapport en welke benaming deze scenario's gekregen hebben.

Tabel 3: Gebruikte modelruns voor elke scenario

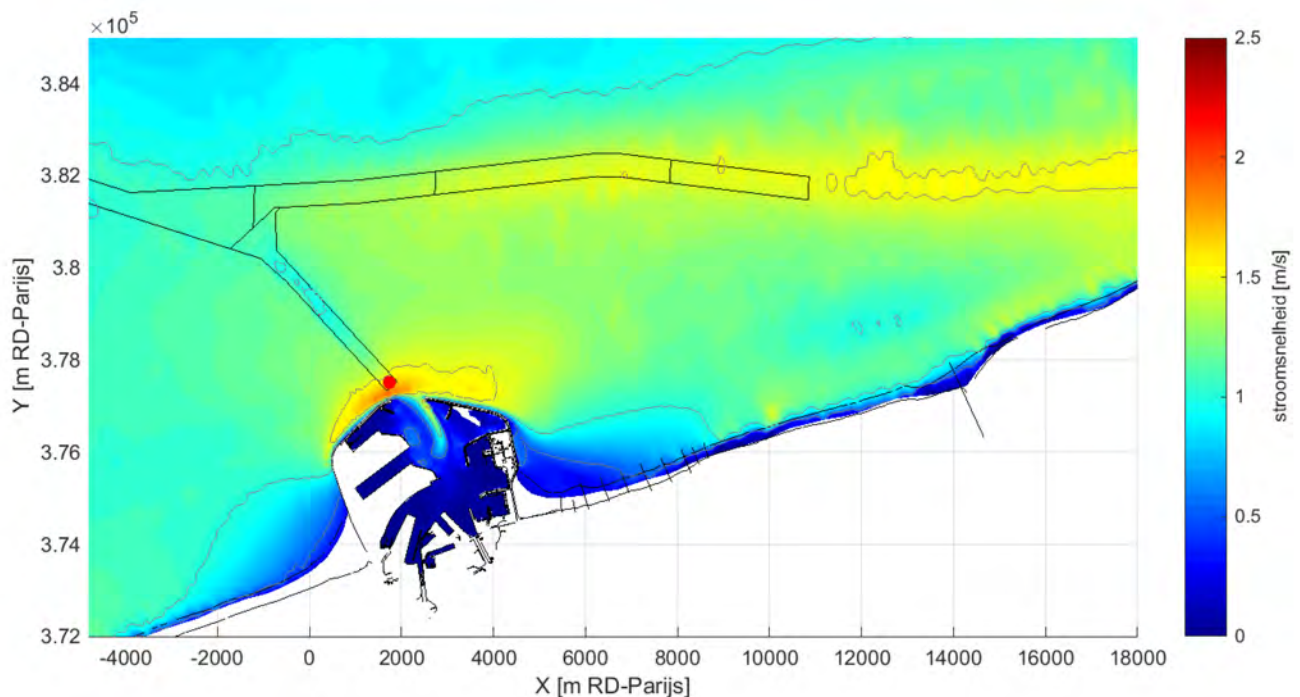
| Scenario | Modelrun |
|--|----------|
| Huidige Situatie (verfijnd IMDC-model) | REF |
| Situatie1970 | 021 |
| Kustboog | 053 |
| 0 | 010 |
| A | 015 |
| A1 | 020 |
| B | 023 |
| C | 047 |
| D | 030 |
| E | 042 |
| E1 | 043 |
| E2 | 044 |
| E3 | 068 |
| E4 | 067 |
| F1 | 069 |
| H1 | 072 |
| I1 | 073 |
| I2 | 074 |

3.1 Huidige situatie

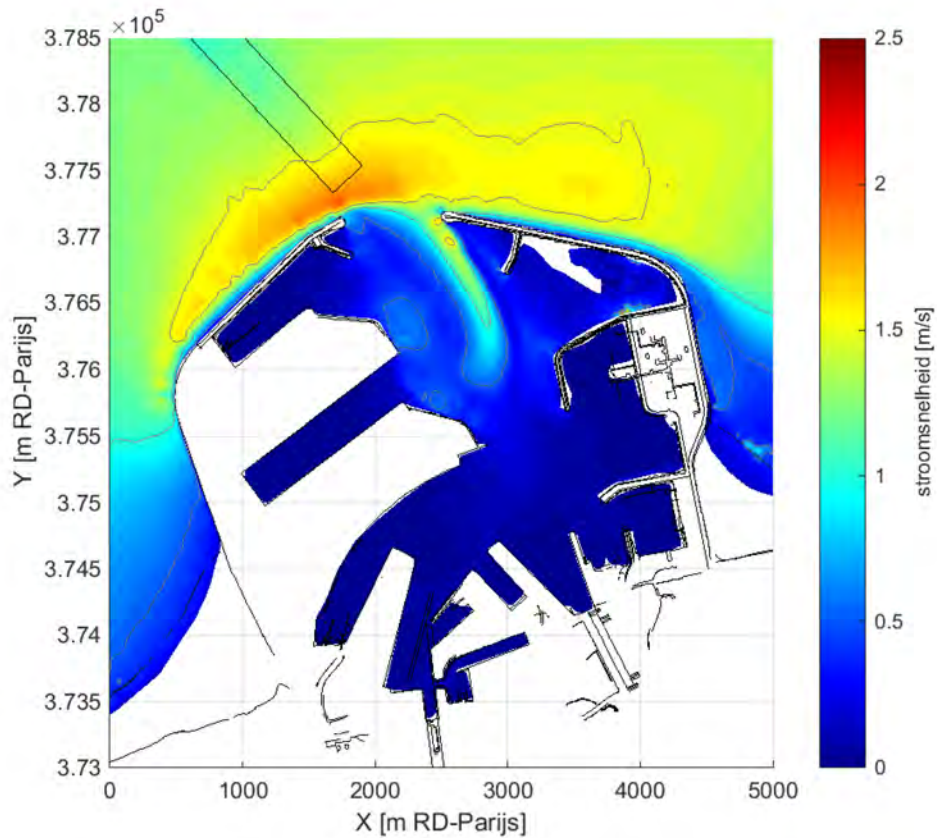
De huidige situatie wordt uitgebreid beschreven in IMDC (2015b) en IMDC (2015c). Hier wordt slechts een beknopte beschrijving van de huidige situatie gegeven. Voor meer informatie verwijzen we naar bovenstaande twee referenties. De geometrie en bathymetrie in het model ter hoogte van Zeebrugge worden weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4.

Voor de toegang van de haven van Zeebrugge worden hoge stroomsnelheden dwars op de vaargeul waargenomen (zie Figuur 5 en Figuur 7). Deze stroomsnelheden lopen op tot ca. 0,75 m/s bij doottij, 1,3 m/s bij gemiddeld tij, en tot meer dan 1,35 m/s bij springtij. Vlak voor de havendammen kan de stroomsnelheid lokaal nog sterker oplopen, tot meer dan 1,5 m/s (dieptegemiddeld), zie Figuur 8. Door deze hoge stroomsnelheden dwars op de vaargeul ontstaat er een spervenster waardoor de toegang tot Zeebrugge voor grote containerschepen en LNG-tankers beperkt is. Voor containerschepen is de maximale dwarsstroming op het vaartraject die mag optreden tijdens opvaart en afvaart beperkt tot 2 knoop (1,03 m/s). Voor LNG-tankers is de maximale toegelaten dwarscomponent bij afvaart beperkt tot 2 knoop en bij opvaart tot 1,5 knoop (0,77 m/s).

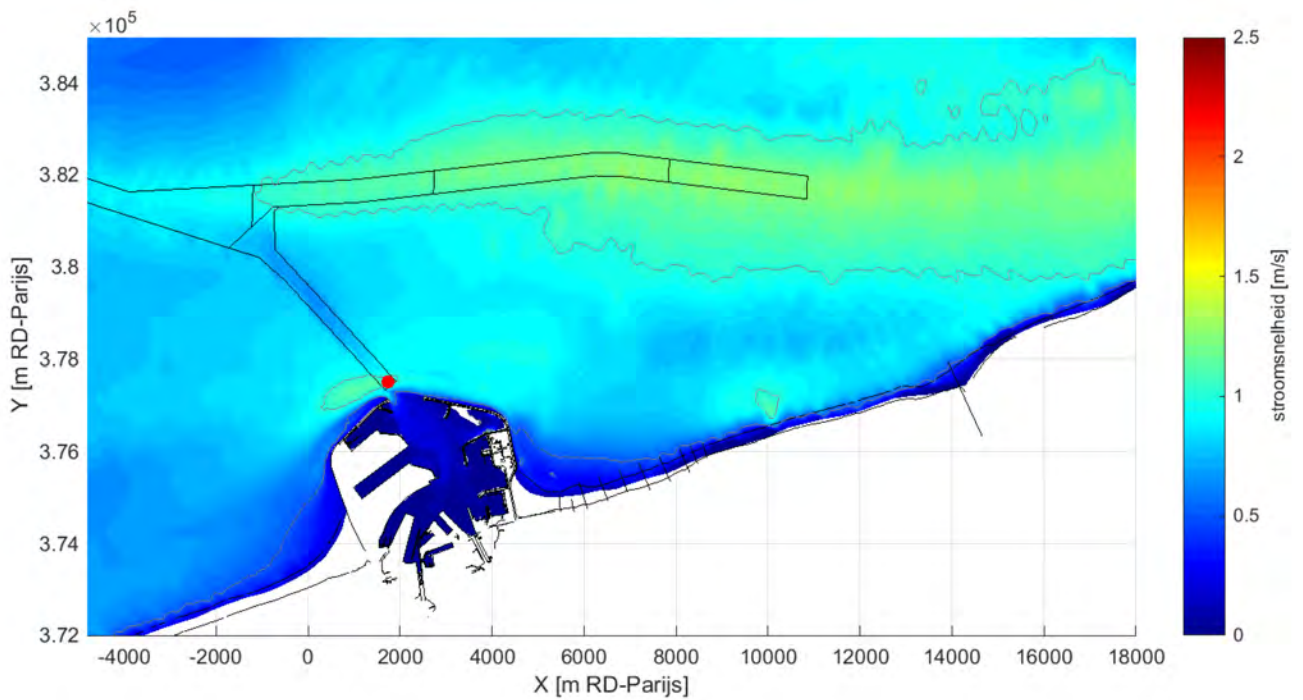
Figuur 9 geeft de dwarscomponent op het vaartraject vlak voor de haveningang. De dwarscomponent van de stroming over het volledige traject CDNB – Pas van het Zand wordt weergegeven in Figuur 10. Tijdens de vloedfase worden de limieten van 2 en 1,5 knoop overschreden gedurende ongeveer 2 uur en respectievelijk 3 uur. Gedurende de eb fase wordt kortstondig lokaal de limiet van 1,5 knoop overschreden. Merk echter op dat het spervenster hier berekend is op basis van de dieptegemiddelde stroming. De stroming aan het oppervlak zal nog hoger zijn. In Dujardin et al. (2010) wordt het spervenster berekend op basis van de 10 bovenste meters van de waterkolom. Voor een schip met een diepgang van 10m duurt het spervenster meer dan drie uur tijdens vloedfase en voor LNG-tankers ruim 4 uur tijdens eb, zie ook Figuur 12.



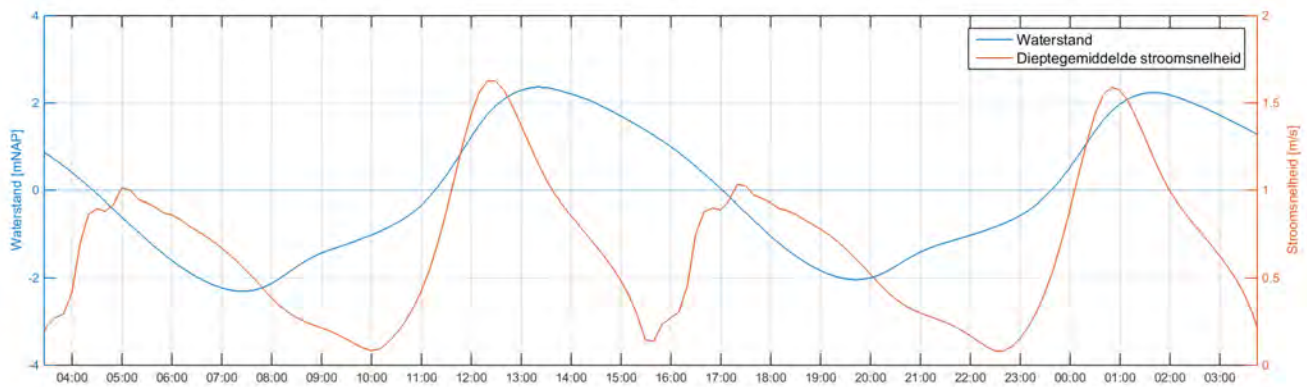
Figuur 5: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloedfase(28-Apr-2009 11:00 → 28-Apr-2009 15:00), interval contourlijnen 0,5m/s. Snelheidsverloop vlak voor de ingang (rode punt) wordt geplot in Figuur 8.



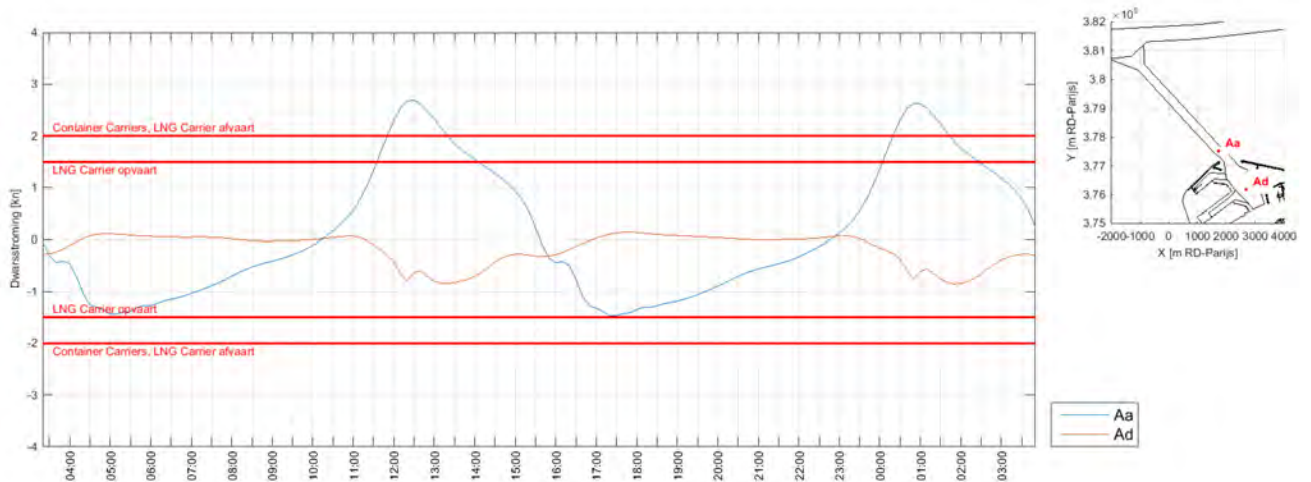
Figuur 6: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloedfase vlak voor en in het CDN(28-Apr-2009 11:00 → 28-Apr-2009 15:00), interval contourlijnen 0,5m/s.



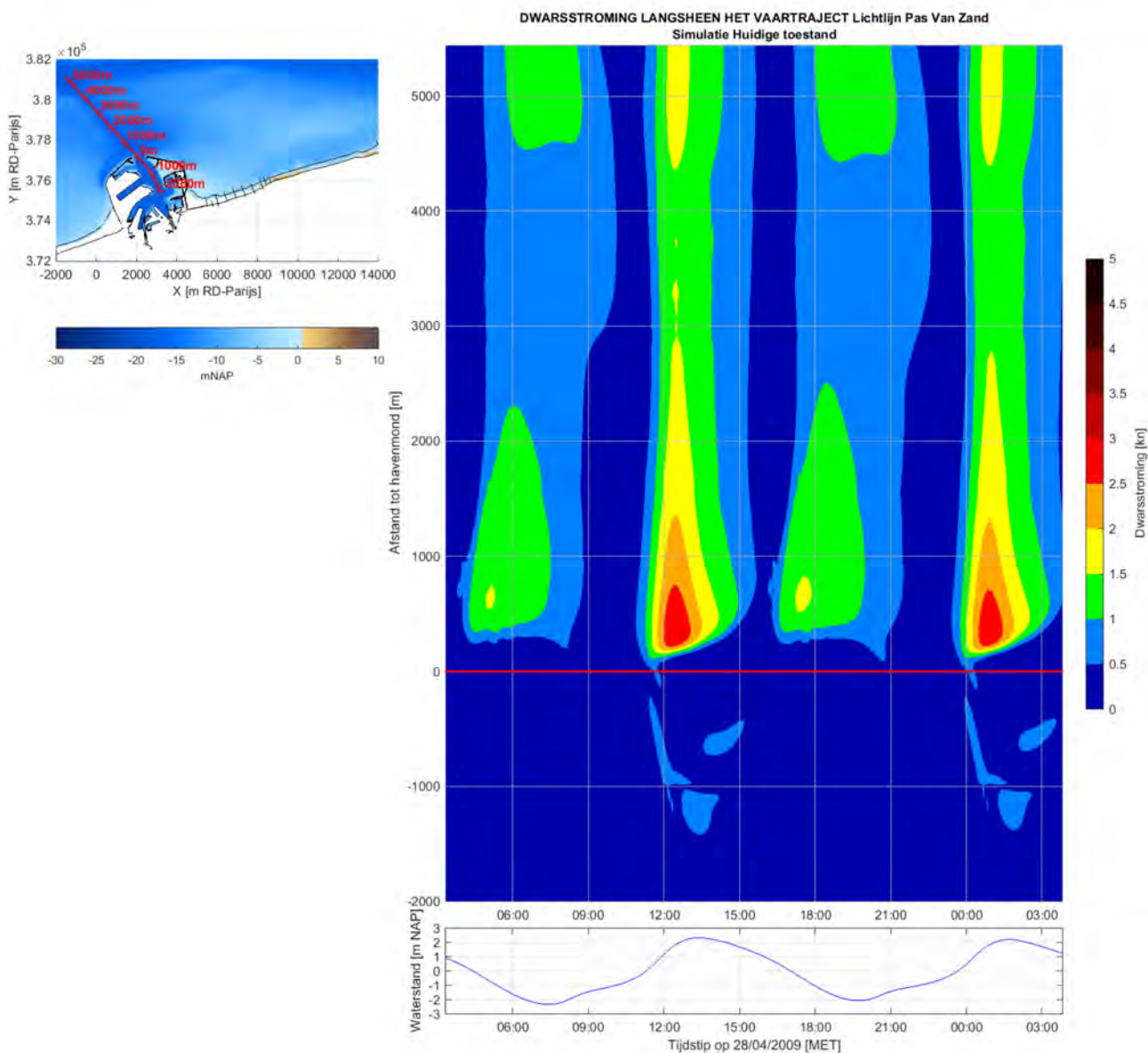
Figuur 7: Maximaal optredende dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens ebphase(28-Apr-2009 16:00 → 28-Apr-2009 19:00), interval contourlijnen 0,5m/s.



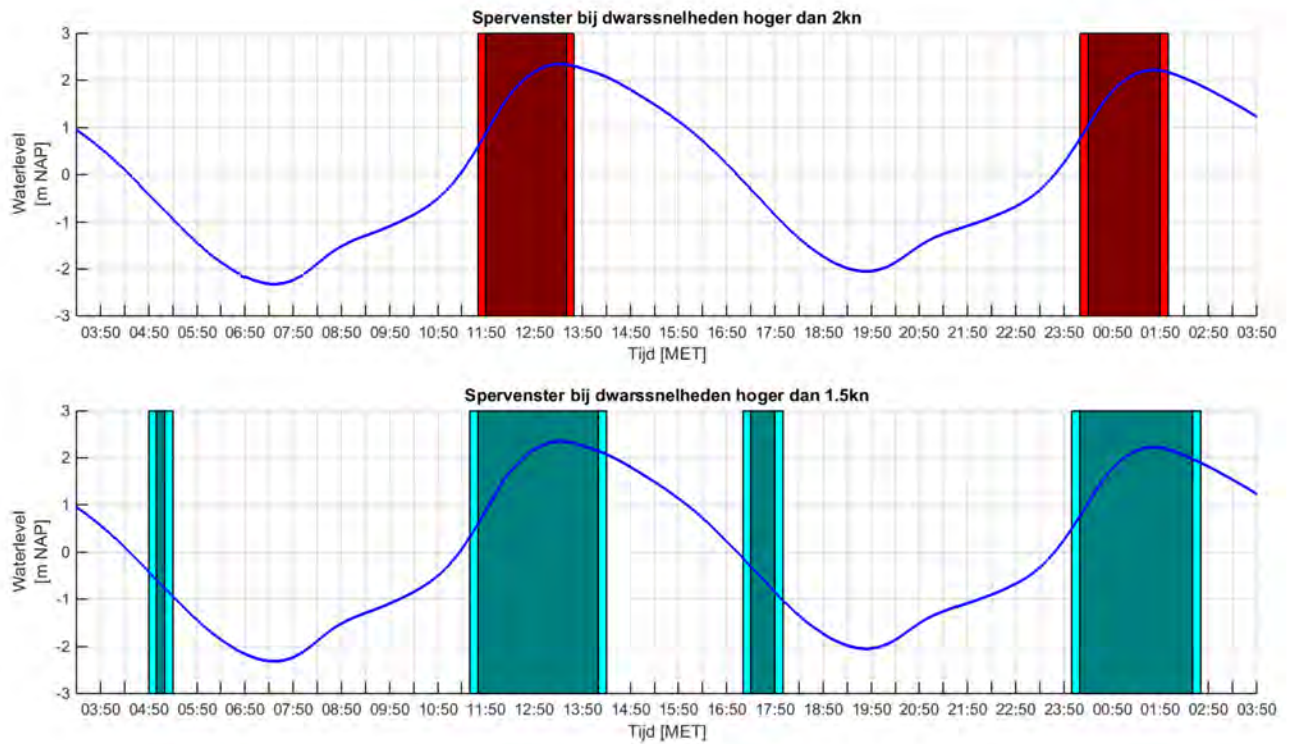
Figuur 8: waterstand (mNAP) en, stroomsnelheid (m/s) voor de haveningang van Zeebrugge in de huidige situatie (zie Figuur 7 voor de exacte locatie).



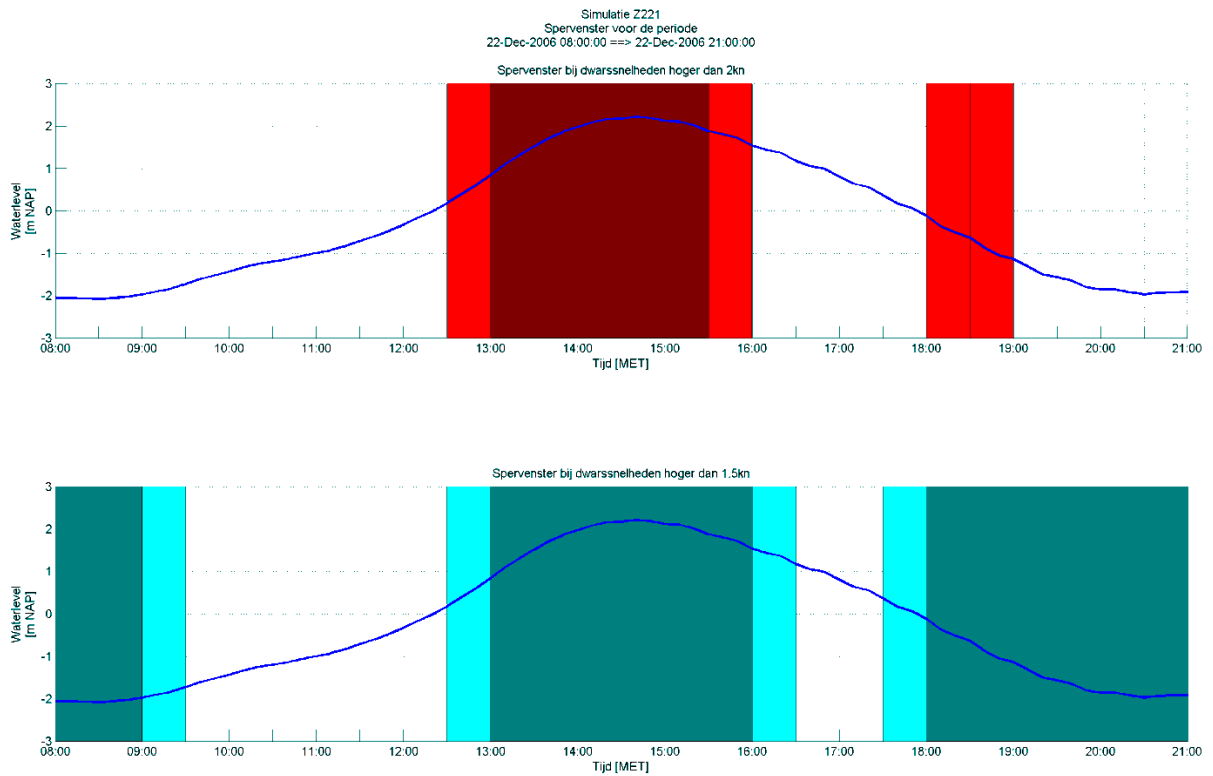
Figuur 9: Dwarsstroming (dieptegemiddeld, kn) op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. De rode lijnen markeren de maximale toegelaten dwarsnelheden tijdens op en afvaart.



Figuur 10: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand.



Figuur 11: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand.



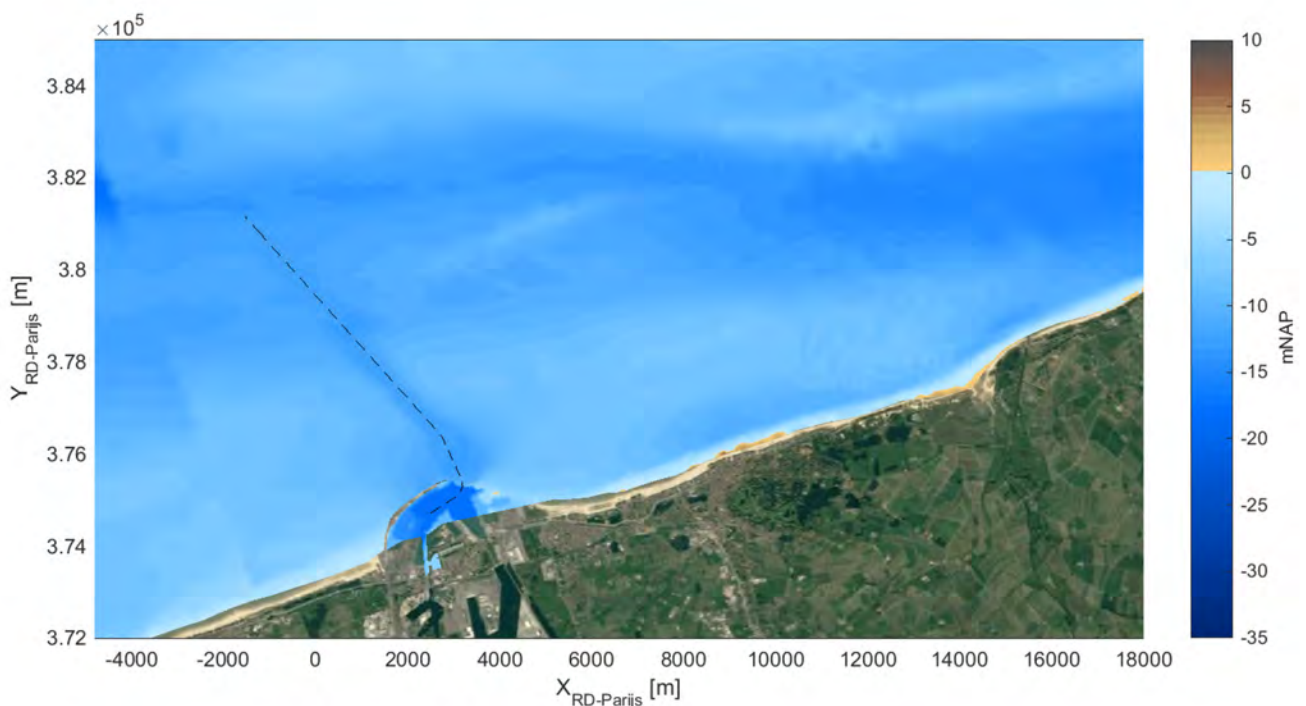
Figuur 12: Spervenster op basis van 10 meter diepgang (*nautical forces equivalent*) uit Dujardin et al. (2010) (Delft3D)

3.2 Het effect van de kust- en havenvorm

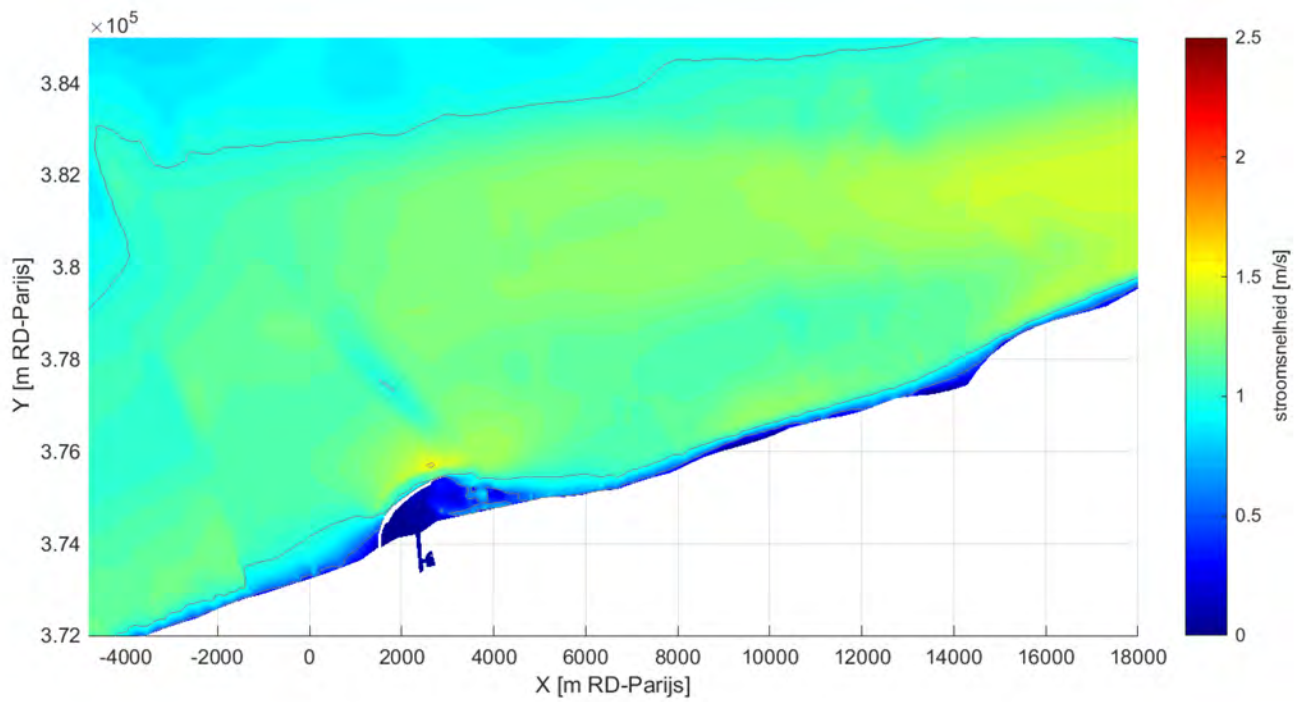
De zeewaartse uitbreiding van Zeebrugge startte in 1976. In 1970 was er dus maar een beperkte zeewaartse uitbreiding: Leopold II Dam. De geometrie van de toenmalige voorhaven en bathymetrie wordt weergegeven in Figuur 13.

Wanneer we deze historische situatie hydrodynamisch bekijken, dan zien we dat de maximale stroomsnelheden tijdens vloedstroming significant lager zijn dan in de huidige situatie. Deze lagere snelheden zijn te verklaren doordat de toenmalige uitbouw veel minder zeewaarts was gericht. Omdat de stroming minder omgebogen wordt, zijn de pieksnelheden lager. Merk echter wel dat lokaal langsheen het toenmalige traject de limieten ook toen overschreden werden, zie Figuur 15 en Tabel 4 op pagina 30, en er alsnog sprake was van een spervenster, hetzij korter dan onder de huidige condities (Figuur 16). Het spervenster bij springtij was 24% korter dan het huidige voor de limiet van 2kn en tot bijna 40% korter voor 1,5knoop.

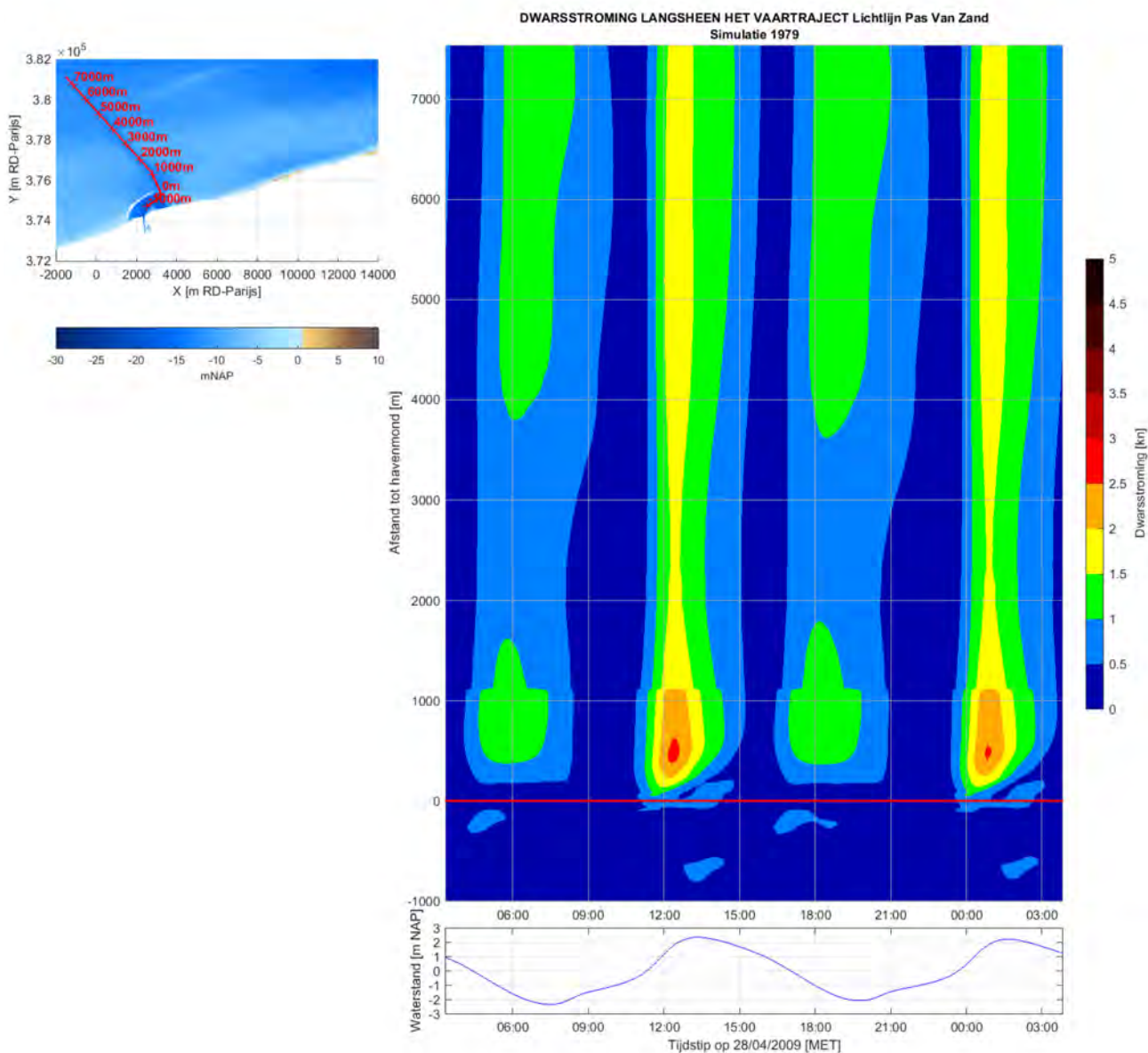
Men dient hierbij echter op te merken dat deze gegevens slechts een indicatie geven van de toenmalige getijstromen. Slechts een deel van de bathymetrie in het model werd vervangen door de bathymetrie van 1970 omdat er te weinig gegevens voorhanden waren om in het volledige modeldomein de toenmalige bathymetrie te gebruiken. De bathymetrie werd vroeger immers niet zo frequent en nauwkeurig opgenomen als vandaag.



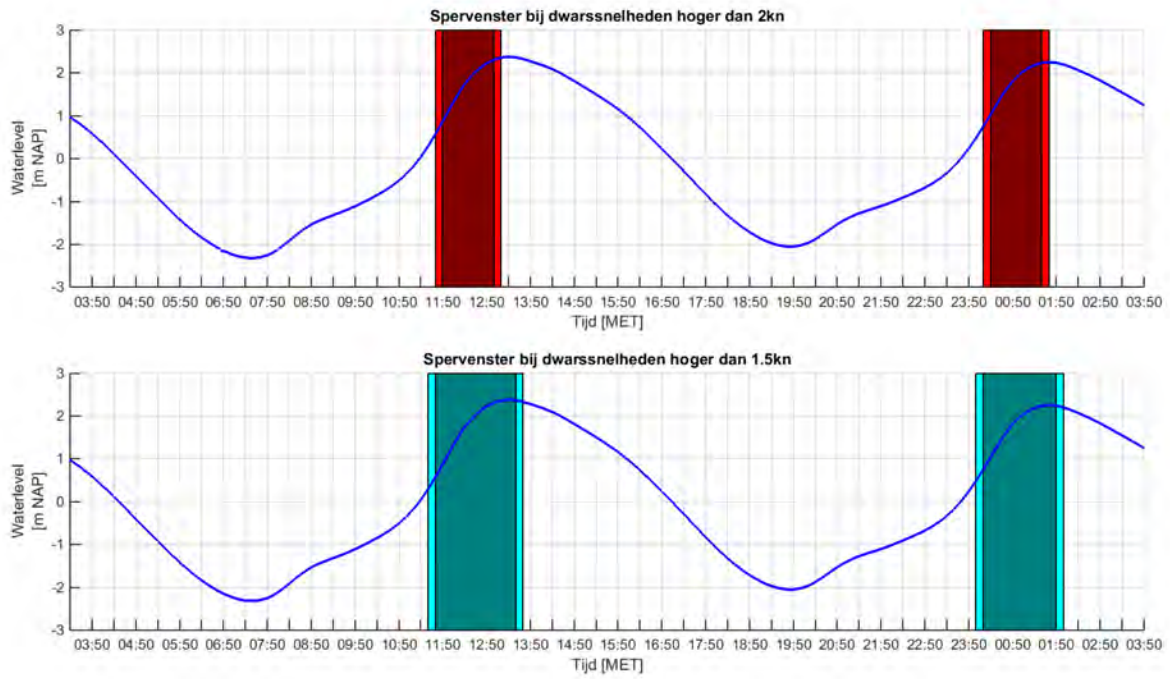
Figuur 13: Bathymetrie 1979 (mNAP)



Figuur 14: Maximale dieptegemiddelde stroming (m/s) tijdens vloedfase springtij voor de uitbouw van de buitenhaven (1979)



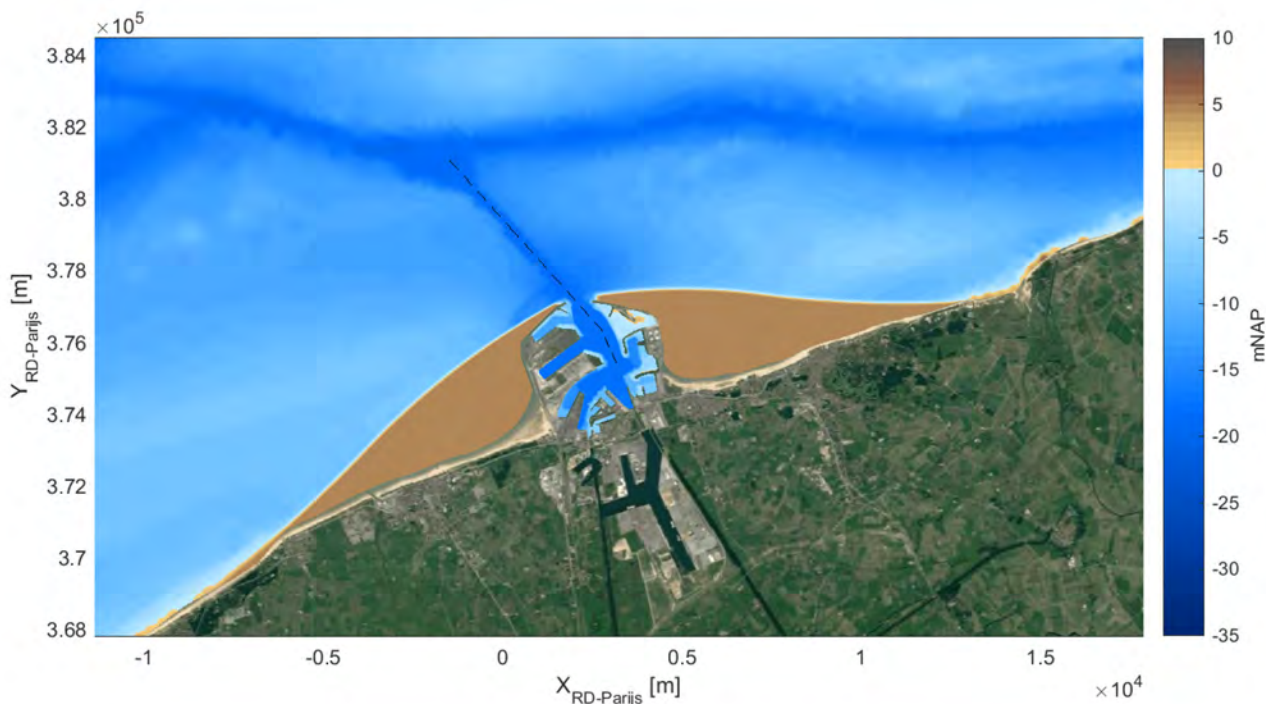
Figuur 15: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, 1970



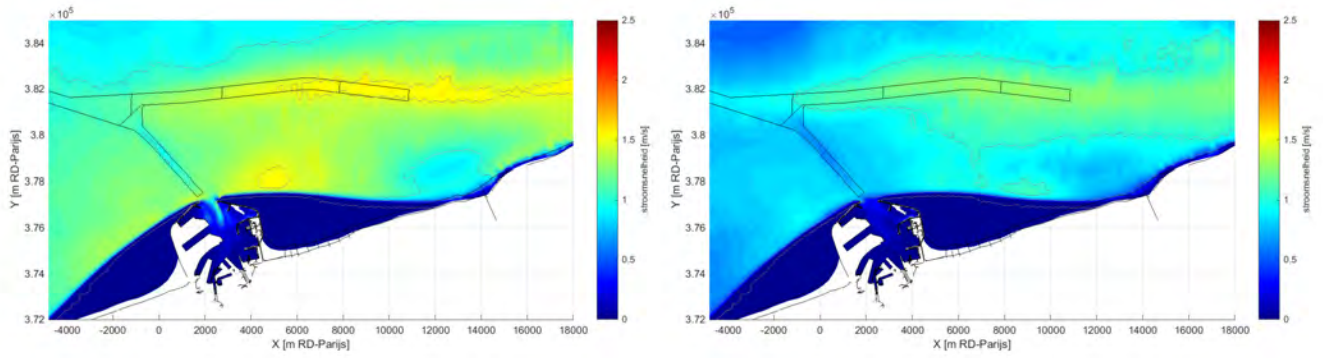
Figuur 16: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, 1979

Uit bovenstaande vergelijking tussen de historische toestand van 1970 en de huidige condities kan men afleiden dat het zeewaarts uitbreiden van de haven van Zeebrugge leidt tot stroomcontracties ter hoogte van de haventoeegang. Deze vaststelling wordt bevestigd door scenario's ALFA_1, BETA_1, M1 en M3 die in IMDC (2015b) worden besproken. Al deze scenario's bevatten een zeewaartse uitbreiding van de haven en veroorzaken een verdere toename van de stroomsnelheid voor de havenmond. Daarom wordt hieronder het concept van een 'gladde' kust onderzocht. Een gladde kust, is een kust waar de getijdengolf zonder grote obstakels te ontmoeten voorbij kan stromen.

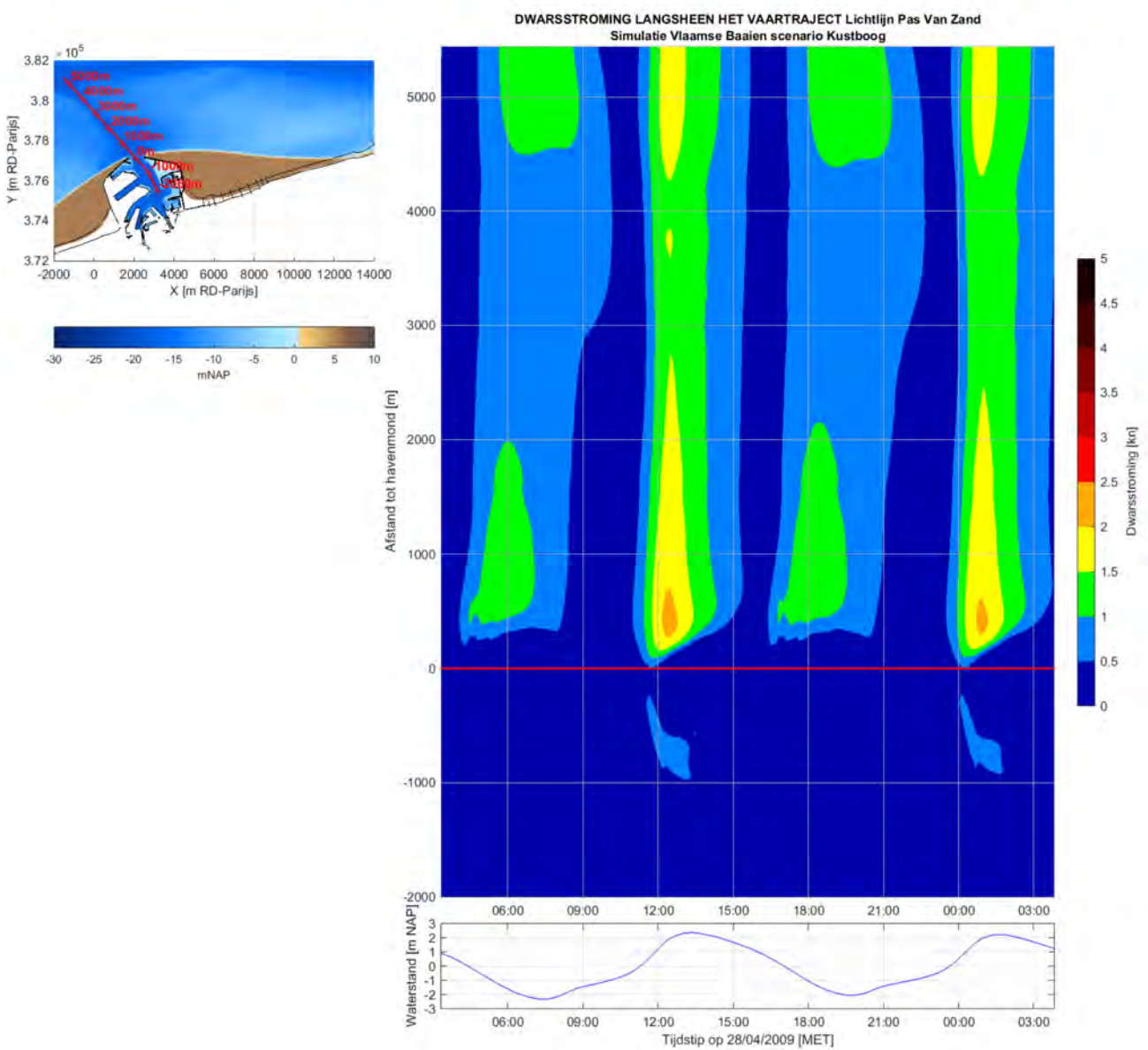
In Figuur 17 wordt een voorbeeld van zo een hydrodynamisch gladde kust gegeven. De haven van Zeebrugge is zowel aan de westkant als oostzijde ingesloten door kustuitbreidingen. Wanneer we naar de maximale dieptegemiddelde stroming bij eb en vloed kijken, Figuur 18, dan zien we dat de getijdengolf geleidelijk van richting verandert waardoor de stroming meer tijd heeft om zich aan te passen, waardoor de stroompiek vlak voor de havenmond lager zal zijn. Dit heeft een positief effect op het stroomvenster. Toch, worden lokaal de limietwaarden voor dwarsstroming tijdelijk nog wel overschreden, zie Figuur 19 tot Figuur 21 en Tabel 4 op pagina 30. Het effect op het spervenster is zelfs groter dan voor de configuratie van 1970. Het spervenster voor containervaart wordt met bijna 70% gereduceerd en voor LNG-carriers tot 50%.



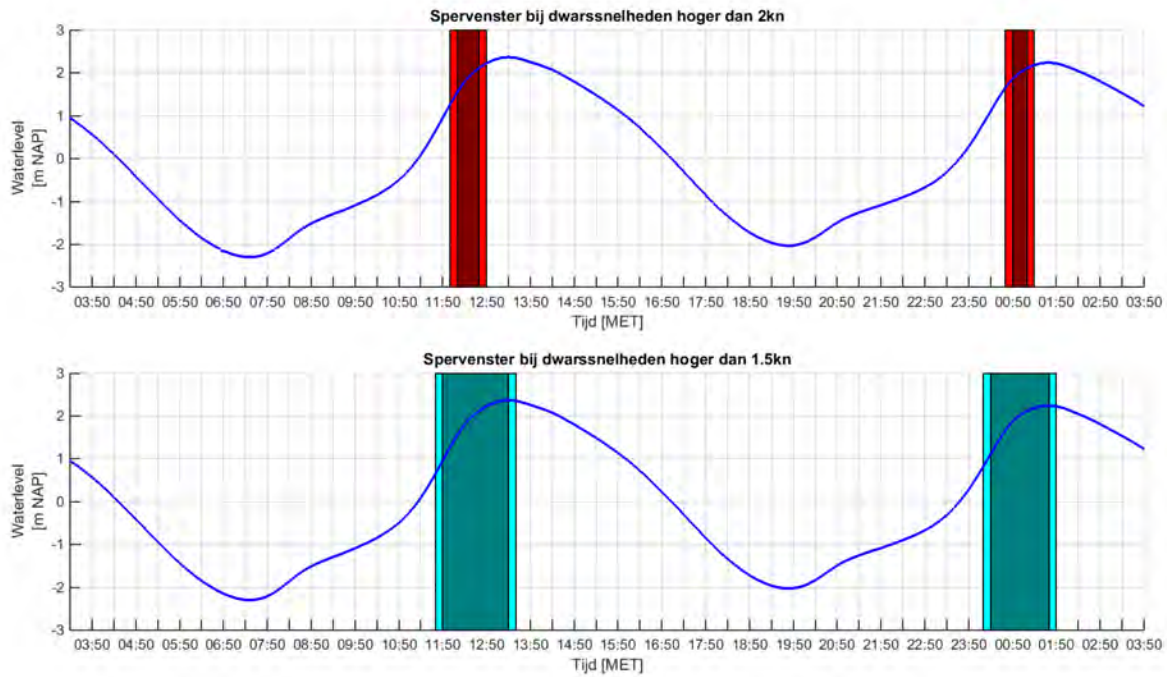
Figuur 17: Vlaamse Baaien scenario Kustboog, bathymetrie in meter NAP.



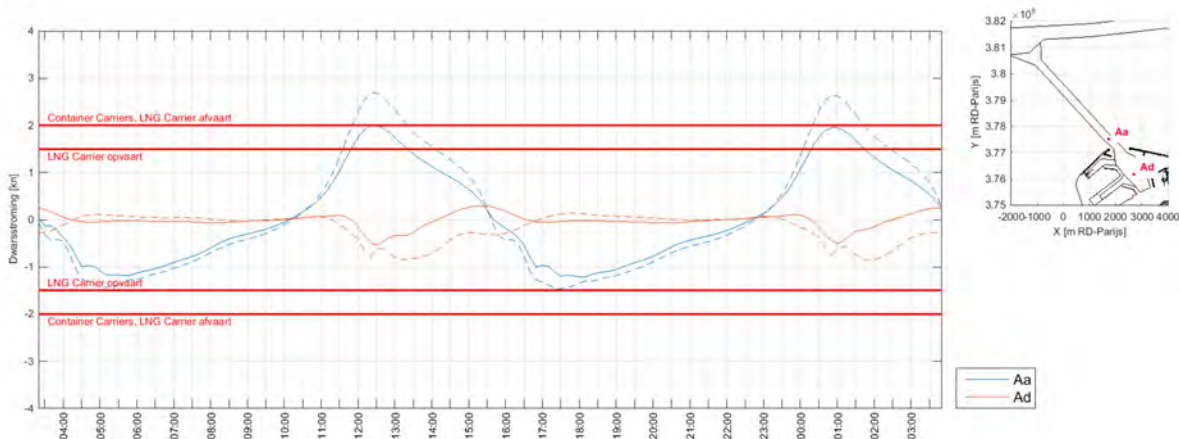
Figuur 18: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (links) en eb fase (rechts), springtij – Scenario “gladde kust” (interval contourlijnen 0,5m/s)



Figuur 19: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Scenario “gladde kust”



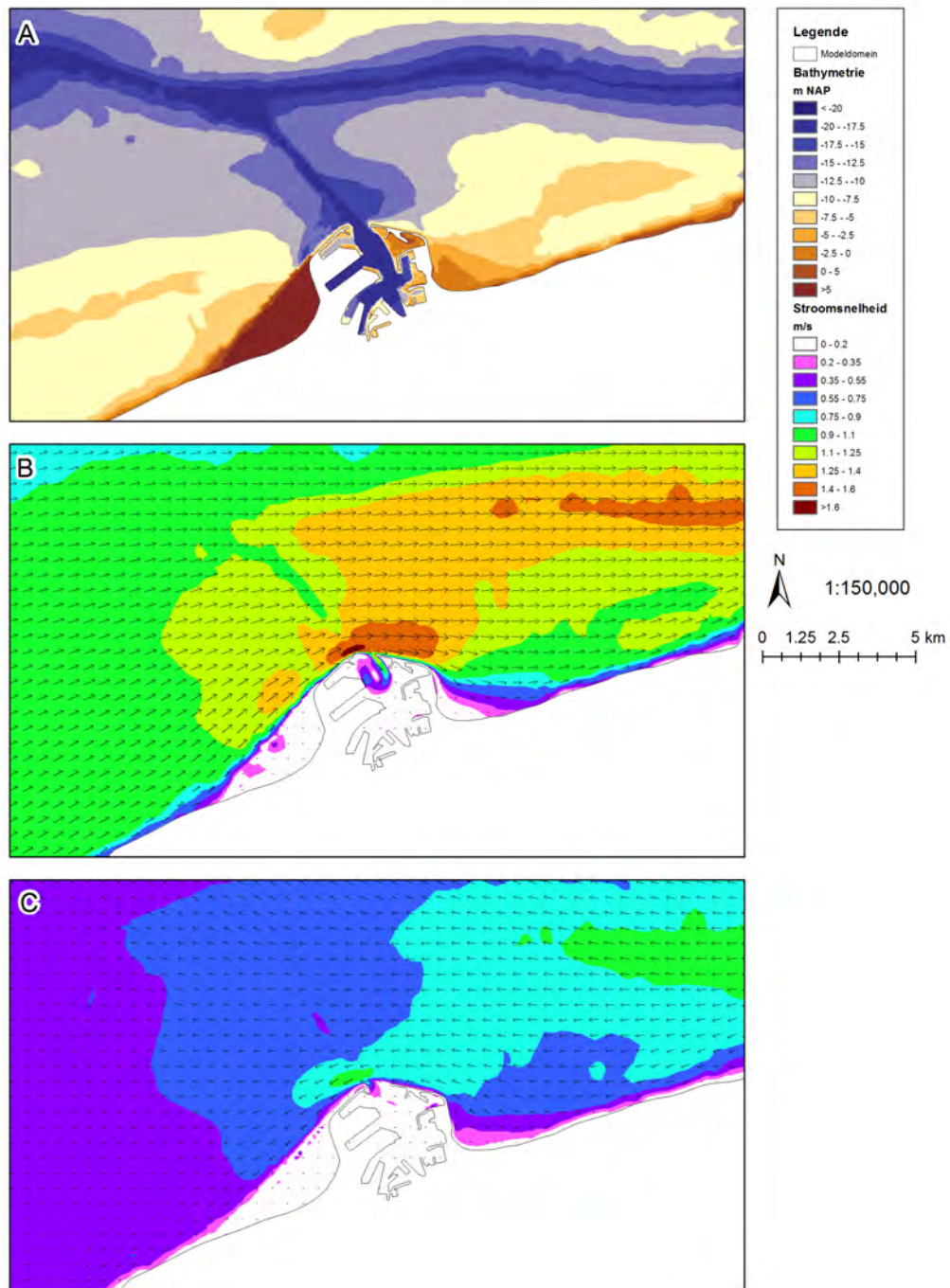
Figuur 20: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Scenario "gladde kust"



Figuur 21: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. Volle lijnen: Scenario "gladde kust", streepjeslijnen: huidige toestand

Gebaseerd op deze vaststellingen kunnen we stellen dat, indien we de stroomsnelheid voor de haveningang niet willen doen oplopen of zelfs willen beperken in toekomstige ontwikkelingsscenario's, alle ingrepen binnen deze ruime kustboog moeten vallen.

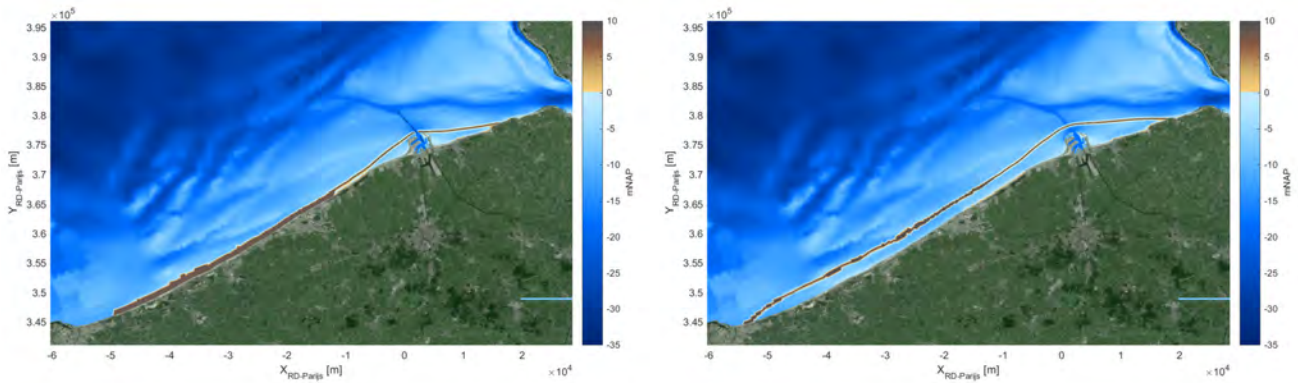
Op deze manier wordt de getijstroom geleidelijk zeewaarts geduwd en valt de stroomsnelheid voor de haveningang te beperken. Hoe groter de kustboog, hoe groter het effect. Er moet op gelet worden dat de boog niet te klein wordt gekozen. Dit wordt duidelijk aangetoond in scenario ZETA_1 in IMDC (2015b). In dit scenario is er enkel aan de westkant van de haven een beperkte uitbreiding van het strand en is er slechts een minimale reductie van de stroomsnelheid voor de havenmond waarneembaar, zie Figuur 22.



Figuur 22: Scenario ZETA_1, A: Bathymetrie, B: stroommaxima tijdens de vloed, C: stroomminimum tijdens de eb (bron: IMDC (2015b)).

3.3 Zoekzone vooruitgeschoven zeeeringslijn

Om een mogelijke zoekzone waarbinnen naar een nieuwe zeeering gezocht kan worden te bepalen, werden twee scenario's beproefd waarbij de volledige kust beschermd wordt tegen zeespiegelstijging door een aangesloten duinengordel zeewaarts, zie Figuur 23. In scenario I1 ligt de duinengordel op ongeveer 300 m voor de huidige kustlijn. In I2 ligt deze ongeveer 1800 m zeewaarts. Scenario I1 voorziet nog in een toegang tot Zeebrugge, scenario I2 is de duinengordel volledig gesloten.

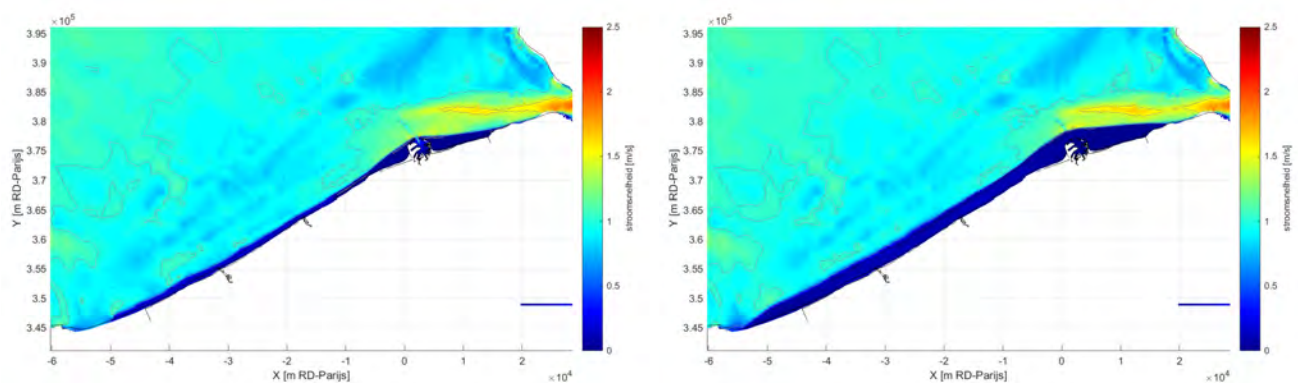


Figuur 23: Scenario's I - aaneengesloten duinengordel. Links duinengordel op 300m van de huidige kustlijn (scenario I1) en rechts op 1800m van de huidige kustlijn (scenario I2)

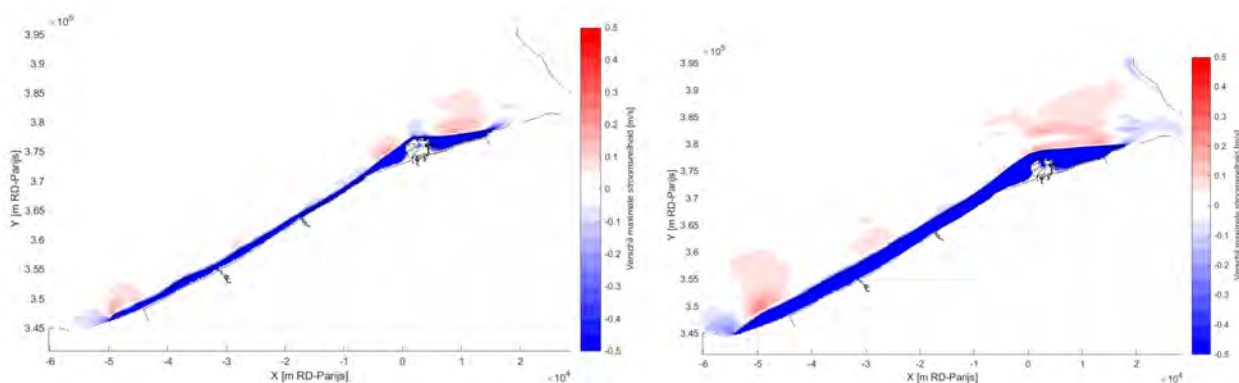
De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens springtij en het verschil met de huidige situatie is weergegeven in Figuur 24 en Figuur 25. De voornaamste verschillen zijn vooral waarneembaar rond Zeebrugge en het mondingsgebied, en ter hoogte van de Frans-Belgische grens. De verschillen ter hoogte van de Belgisch-Franse grens worden voornamelijk veroorzaakt door de abrupte aansluiting van de duinengordel aan de bestaande kustlijn en is nog voor verbetering vatbaar. In het scenario I1 zijn de veranderingen in stroomsnelheid rond Zeebrugge nog lokaal. Door de kustboog worden de stroomsnelheden ter hoogte van de haveningang verlaagd wat een positief effect heeft op het spervenster, zie Figuur 26.

Het verder zeewaarts opschuiven van de zeelinie heeft slechts een beperkte invloed op de stromingen ten westen van Zeebrugge. Enkel een lichte toename, <10cm/s, van de maximale stroming ter hoogte van Wenduine is waarneembaar. Ten noordoosten van Zeebrugge, ter hoogte van Wielingen en Vlake van de Raan, is wel een significante toename van de maximale stroomsnelheid waarneembaar. Ook ter hoogte van de monding en het Oostgat zijn veranderingen waarneembaar. Lokaal langsheen de vaargeul Pas van het Zand is, door het zeewaarts verplaatsen van de duinengordel, een verhoging van de snelheid waarneembaar. Deze lokale verhoging heeft echter geen negatief effect op het spervenster, zie Figuur 27. De vorm van de kustboog heeft nog altijd een positief effect op de toegankelijkheid (in de veronderstelling dat de duinengordel een doorgang voor de zeevaart voorziet). Door het verder vooruitschuiven van de kustboog is het effect kleiner dan in scenario I1. In scenario I2 worden ook tijdens de eb fase nog dwarsnelheden hoger dan 1,5kn waargenomen. De overschrijding tijdens eb is echter wel lokaal en op enige afstand van de havenmond, zie Figuur 80 op pagina 19.

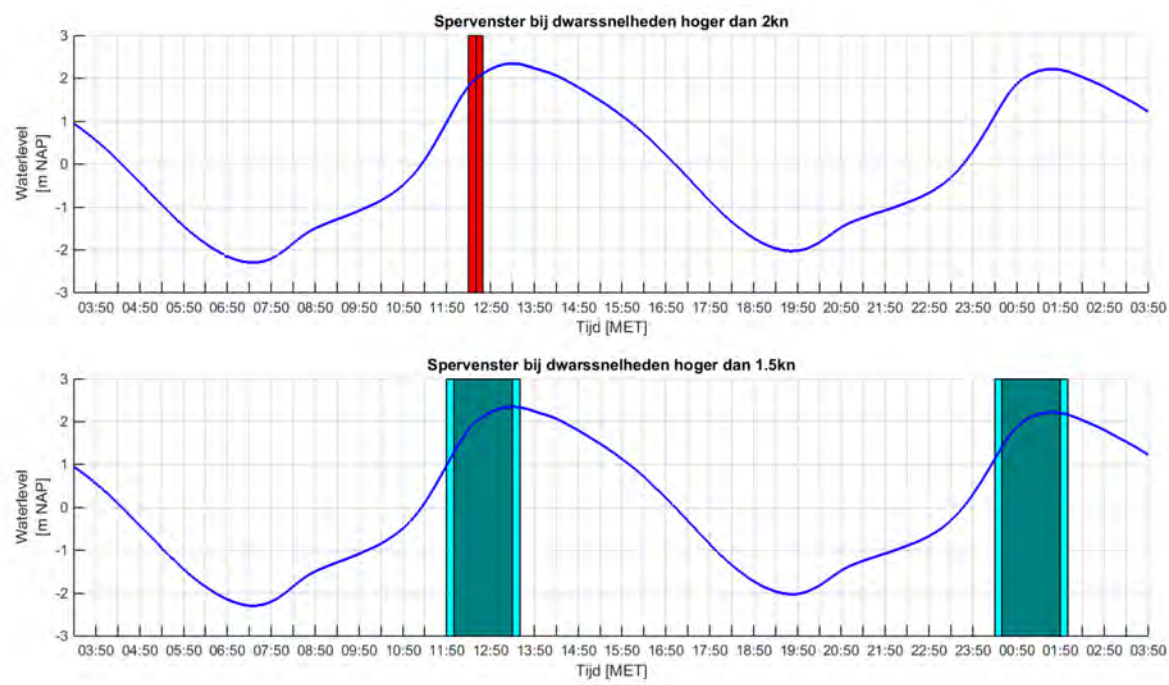
Uit de vergelijking van de scenario's I1 en I2 volgt dat voor de westkust het zeewaarts uitbreiden van de zoekzone voor een zeewaartse verdedigingslinie weinig effect heeft op de stromingen. In de omgeving van Zeebrugge en de Oostkust is het aangewezen de zoekzone te beperken tot de kustboog rond Zeebrugge.



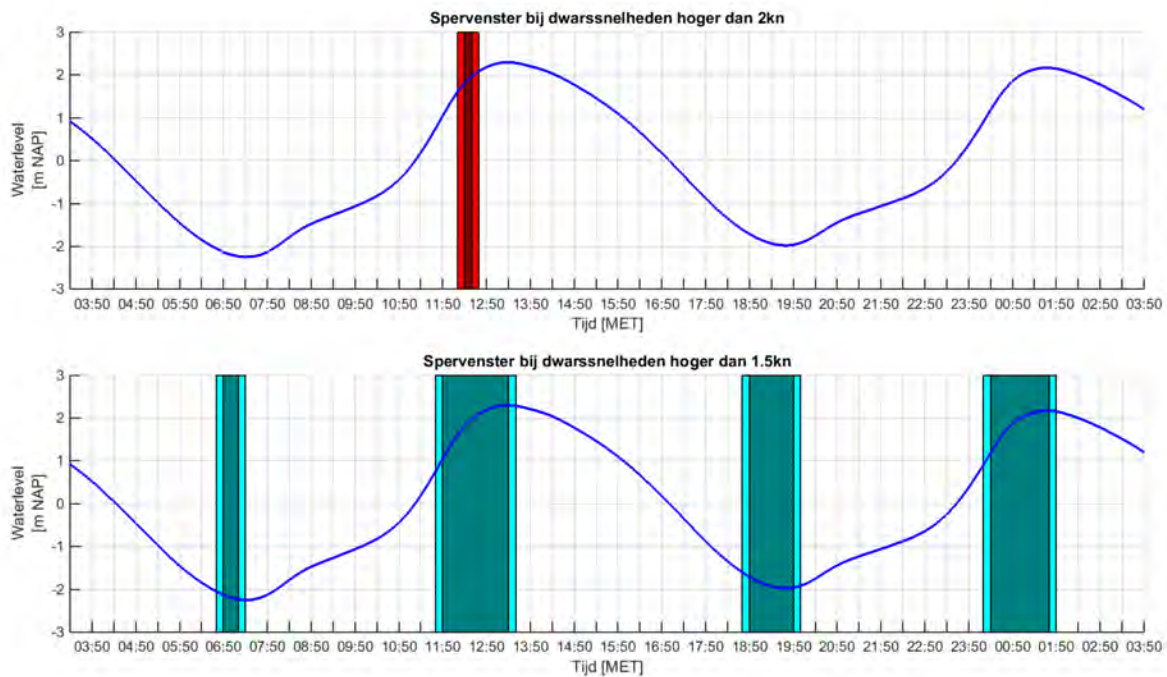
Figuur 24: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) Vlaamse Baaien scenario duinengordel I1 (links) en I2 (rechts) tijdens springtij.



Figuur 25: Absoluut verschil in maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid, Vlaamse Baaien scenario duinengordel I1 (links) en I2 (rechts) - Huidige Toestand Belgische Kust



Figuur 26: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel



Figuur 27: Spervenster op basis van dieptegemiddelde snelheden bij springtij voor traject Pas van Zand, Vlaamse Baaien scenario I2 - Duinengordel

3.4 Estuaire vaart

In het Masterplan Vlaamse Baaien (aMT, 2014) wordt benadrukt dat de haven van Zeebrugge beter ontsloten moet worden voor binnenschepen op zee. Om binnenschepen zoveel mogelijk kans te geven om langs de kust tussen Zeebrugge en de Westerschelde te varen, kan een reeks eilanden, of langgerekte dammen, parallel aan de kust een oplossing zijn. De toegankelijkheid van Zeebrugge voor estuaire vaart wordt immers beperkt door het golfklimaat: voor de meeste schepen is de toegelaten significante golfhoogte beperkt tot 0,6m. Sommige schepen hebben een certificaat voor golven tot 1,2m significante golfhoogte. Een beperkt aantal schepen kunnen tot 2m significante golfhoogte opereren (Van Zwijnsvoorde et al., 2016).

Een reeks eilanden of dammen kunnen het golfklimaat langs de kust milderden (Van Zwijnsvoorde et al., 2016). In dit deel kijken we naar verschillende configuraties van eilanden en dammen en zoeken we naar een configuratie waarbij de stroomsnelheden tussen de kust en de eilanden of dammen niet te hoog oplopen. Op basis van de stroomcondities worden een aantal scenario's geselecteerd die verder geanalyseerd zullen worden op hun impact op lokaal golfklimaat, toegankelijkheid en morfologie.

Uit bovenstaande analyses bleek al dat de configuratie van eilanden en dammen liefst binnen het concept van de gladde kustboog dienen ontworpen te worden zodat de stroming geleidelijk zeewaarts gericht wordt, waardoor de stroomsnelheden voor de haveningang niet sterk oplopen. Binnen dit kader werden diverse scenario's uitgewerkt. Deze scenario's worden verder in dit rapport besproken. Eerst wordt de gebruikte terminologie en opbouw van de verschillende scenario's verklaard.

In alle scenario's wordt er in de oostelijke havendam een opening gemaakt zodat de binnenschepen langs deze opening de haven kunnen in- en uitvaren. De positie van deze opening is in de scenario's in dit rapport net ten noorden van de LNG-terminal gemaakt. In een aantal scenario's is deze doorgang uitgevoerd in de vorm van een kanaal. Gericht op mogelijke havenuitbreidingen binnen de huidige havengrenzen kan in de oostelijke dam ook op andere locaties een opening voorzien worden. In dit onderzoek wordt echter niet in detail naar potentiële interne havenuitbreidingen gekeken. Parallel aan de kust, ten oosten van Zeebrugge, worden in de scenario's eilanden en/of dammen voorzien. In Figuur 28 wordt de naamgeving van deze eilanden en dammen weergegeven.

Eiland 1 ligt net ten oosten van de oostelijke havendam van Zeebrugge. In sommige scenario's is eiland 1 verbonden met de oostelijke havendam en dan zal er in onderstaande tekst de term schiereiland gebruikt worden. Wanneer eiland 1 uitgevoerd wordt als een dam, dan zal er in de tekst gesproken worden van dam 1. Ten oosten van eiland 1 wordt er in de scenario's een tweede eiland toegevoegd. Dit eiland wordt in de tekst eiland 2 genoemd.

In de meeste scenario's wordt ook een verbreding van het strand ter hoogte van Knokke-Heist voorzien. Deze verbreding van het strand en de vooroever wordt in de tekst omschreven als landwinning of kustverbreding. De verbreding vermindert de komberging achter de eilanden. Op die manier worden de stroomsnelheden tussen de eilanden en dam, maar ook in de nieuwe toegang tot de haven getemperd. De nieuwe vaargeul voor estuaire vaart bevindt zich ten zuiden van de eilandengordel, langsheen de verbrede Oostkust.



Figuur 28: Schematisch overzicht van de mogelijke ingrepen Vlaamse Baaien ter hoogte van de Oostkust.

De configuratie van de landwinning en eilanden en/of dammen in de scenario's mogen in geen geval de dwarsstroom voor de haveningang van Zeebrugge doen toenemen.

3.5 Scenarioanalyse

3.5.1 Beschrijving van de scenario's

De gebruikte bathymetrie in de scenario's is weergegeven in

Figuur 29 tot

Figuur 31. Hieronder worden deze scenario's kort besproken. In de figuren is ook het traject voor estuaire vaart weergegeven.

Scenario 0 is het eerste doorgerekende scenario en bestaat uit een schiereiland aan de oostelijke havendam en een lang, smal tweede eiland. Het schiereiland meet ongeveer 2700 m op 400 m. Het tweede eiland ligt grotendeels ter hoogte van de zuidelijke rand van de Paardenmarkt en is ongeveer 6,5 km lang en 250 m breed. Voor de aanleg van de eilanden dient respectievelijk 4,9 Mm³ en 15 Mm³ zand opgespoten te worden.

In **scenario A** is eveneens een schiereiland aan de oostelijke havendam aangebracht, maar dit schiereiland is anders georiënteerd. Waar in scenario 0 het uiteinde van het eiland oostelijk gericht was, is het uiteinde in scenario A zuidoostelijk gericht. Dit schiereiland is iets kleiner (2,3 km lang en 300 m breed), waardoor er minder zand nodig is om dit eiland aan te leggen (3 Mm³). Het tweede eiland is identiek aan het eiland in scenario 0.

Scenario A1 is gelijk aan scenario A maar de kust tussen de Baai van Heist en het Zwin is zeewaarts uitgebreid. Op deze manier wordt de komberging tussen de eilanden gereduceerd. Deze landwinning wordt in alle volgende scenario's ook toegevoegd, tenzij anders vermeld. De strandsuppletie voor de landwinning bedraagt ongeveer 38 Mm³ zand. Het strand wordt op deze manier ca. 600 m breder.

Scenario B bestaat uit slechts één lang (7,5 km), smal (330 m) eiland met een benodigd volume van 11,2 Mm³ zand in plaats van twee eilanden zoals in scenario's 0, A en A1. Dit eiland raakt de oostelijke havendam niet, waardoor er tussen de oostelijke havendam en het eiland een opening ontstaat.

De doorgang in de oostelijke havendam in **scenario C** ligt, in tegenstelling tot de voorgaande scenario's, iets noordelijker. Hierdoor wordt het noordelijkste deel van de oostelijke havendam verlengd en loopt het als het ware 2200 m door naar het oosten. Deze lange dam vervangt het eerste eiland. De opening in de oostelijke havendam is ongeveer 60 m breed. Het tweede eiland is ongeveer 420 m breed, 7 km lang en maximaal 6 m hoog. Het heeft een volume van 17,9 Mm³. Dit eiland ligt op de zuidelijke rand van de Paardenmarkt en ligt op een afstand van ongeveer 780 m ten noorden van de verlengde havendam.

In **scenario C1** is dezelfde configuratie gebruikt als in scenario C, maar het eiland is aan de zuidrand breder gemaakt om de vrije ruimte tussen de kust en het eiland verder te verminderen. Het eiland is ongeveer 5,5 km lang, 500 m breed en neemt een volume in van ca. 15,9 Mm³.

Scenario D is opgebouwd uit twee eilanden. Het eerste eiland ligt ongeveer 400 m van de oostelijke havendam en is ongeveer 170 m breed en 2,4 km lang. Het neemt een volume van 1,9 Mm³ in. Ten noordoosten van dit eerste eiland ligt het tweede eiland. Dit tweede eiland is 5,8 km lang en 415 m breed en neemt een volume van 12,2 Mm³ in. Het tweede eiland ligt op de noordelijke rand van de Paardenmarkt. Beide eilanden zijn ongeveer 5 m NAP hoog en ze liggen ongeveer 400 m van elkaar.

Scenario E bestaat opnieuw uit twee eilanden. Het eerste eiland heeft een licht gebogen L-vorm en is 2 km lang, 180 m breed en maximaal 5,5 m NAP hoog. Het heeft een volume van ongeveer 2 Mm³. Het tweede eiland overlapt het eerste eiland deels en is ongeveer 7 km lang en 420 m breed. De twee eilanden liggen ongeveer 450 m van elkaar.

Scenario E1 is een variant op scenario E. Het eerste eiland is in beide scenario's identiek, het tweede eiland is in het midden verbreed tot 880 m. Het benodigde volume voor dit eiland bedraagt ongeveer 34,6 Mm³. De afstand tussen dit verbrede eiland en de landwinning tussen het Zwin en de Baai van Heist bedraagt ongeveer 1,2 km.

Scenario E2 is een tweede variant op scenario E. Hier is het tweede eiland in het midden verder verbreed tot 1150 m. Hierdoor is de afstand tussen het eiland en het verbrede strand ongeveer 900 m.

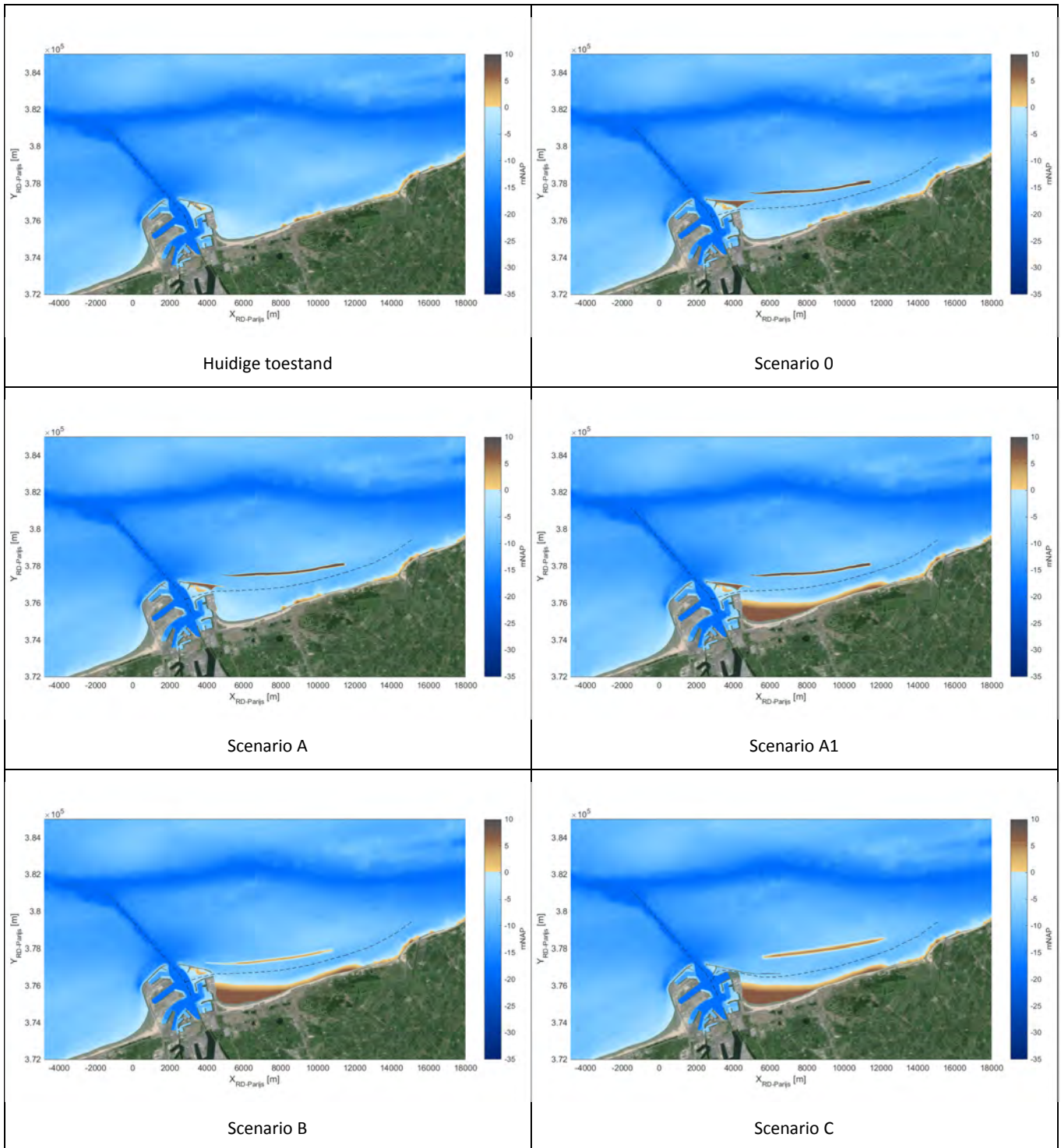
Scenario E3 heeft dezelfde eilanden en strandverbreding als scenario E1, maar de toegang voor estuaire vaart in de oostelijke havendam is in deze uitgevoerd als een kanaal om uitbreiding van de LNG terminal binnen de havendammen toe te laten.

In **Scenario E4** wordt de kruinhoogte van de eilanden beperkt tot net onder de laagwaterlijn (0 mLAT = -2.56 mNAP). Benodigd zandvolume voor het eiland: 26,5 Mm³.

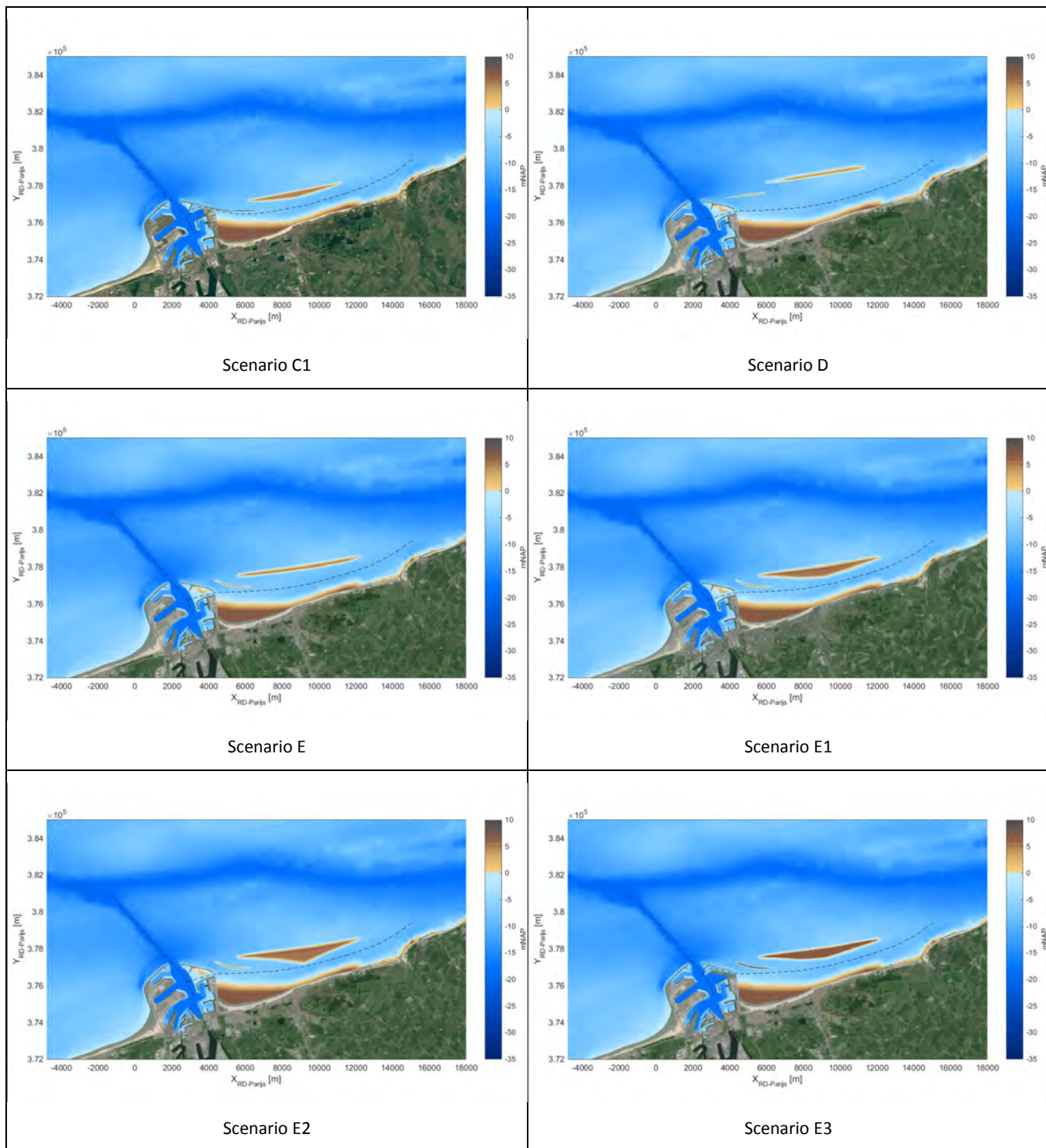
In **Scenario F1** liggen de eilanden meer noordelijker in een poging om de estuaire vaart maximaal om de historische munitiestortplaats heen te leiden (gemarkeerde vijfhoek in

Figuur 31). Dit vraagt echter eveneens een substantiële landwinning van 164 Mm³. Benodigd volume voor het eiland: 48 Mm³.

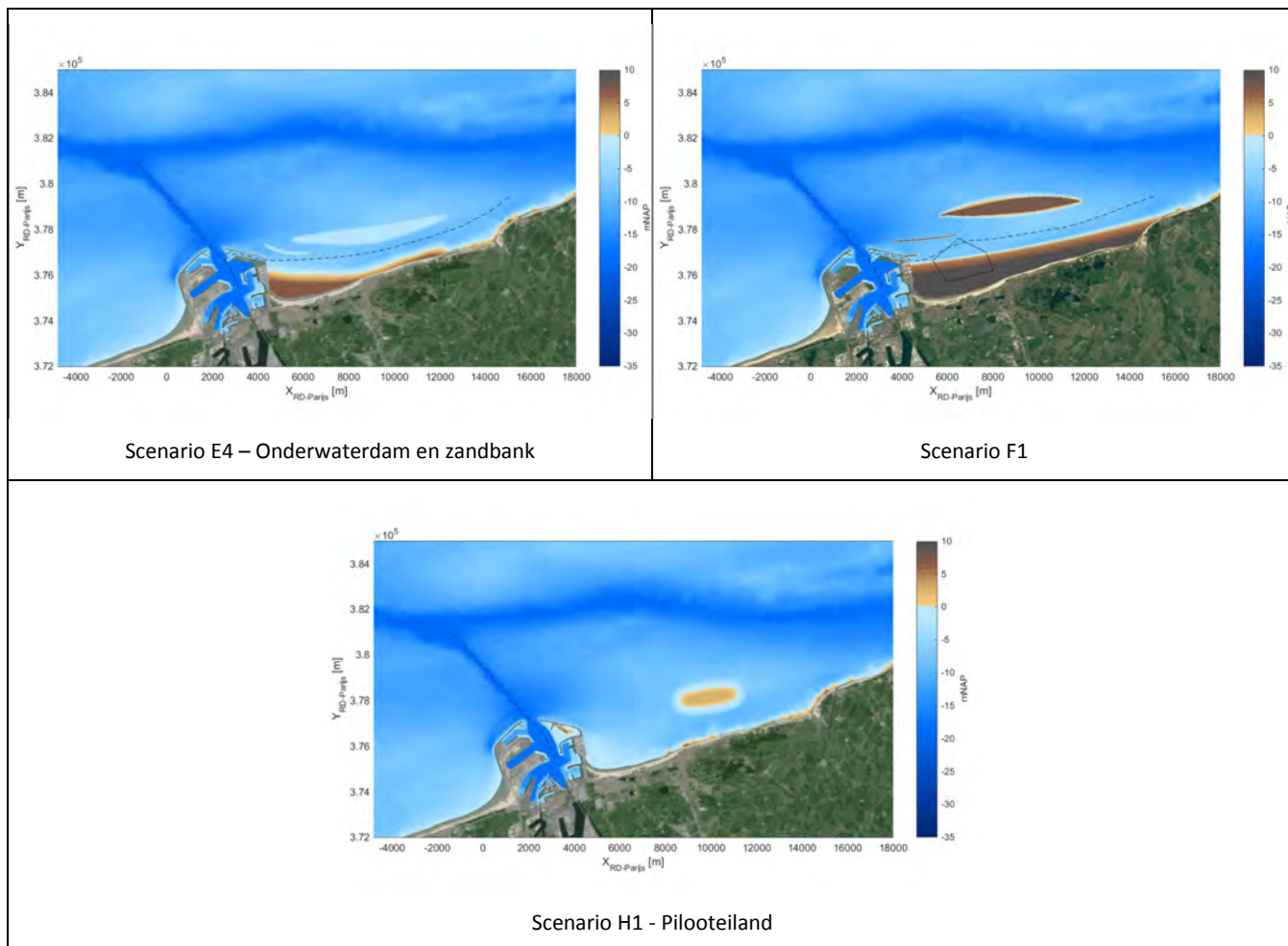
Scenario H1: Pilot eiland. In een eerste fase van de uitvoering van het masterplan is het de wens om een pilot eiland aan te leggen. Dit eiland zou aangelegd worden op de Paardenmarkt ter hoogte van het strand van Knokke. Kruinhoogte bedraagt 2,5 mNAP. Voor de aanleg van het eiland zou specie gebruikt kunnen worden uit de stortplaats S1, 16 Mm³, om op die manier deze stortplaats open te houden voor verdere exploitatie.



Figuur 29: Huidige bathymetrie en bathymetrie voor de scenario's 0, A B en C. De streepjeslijnen geven de vaarroutes voor zeevaart (Pas van het Zand) en estuaire vaart weer.



Figuur 30: Bathymetrie voor de scenario's C1 tot E3. De streepjeslijnen geven de vaarroutes voor zeevaart (Pas van het Zand) en estuaire vaart weer.



Figuur 31: Bathymetrie voor de scenario's E4 tot H1. De streepjeslijnen geven de vaarroutes voor zeevaart (Pas van het Zand) en estuaire vaart weer.

3.5.2 Stroming Pas van Zand en Wielingen

Eén van de doelen van de aanleg van de eilanden is het faciliteren van estuaire vaart van en naar Zeebrugge via een nieuwe vaarroute. Uiteraard mogen de ingrepen geen negatieve en liefst zelfs positieven effecten hebben op de toegankelijkheid voor de zeevaart via het bestaande tracé, Pas van het Zand. Tabel 4 geeft de maximale dwarscomponent (dieptegemiddeld) langsheen het huidige traject Pas van het Zand en de duur van het spervenster voor container- en LNG-carriers voor de huidige toestand en de verschillende scenario's. De maximale stroming tijdens vloed en eb, alsook het verloop van de dwarscomponent langsheen het volledige traject zijn opgenomen in de bijlagen B en C.

Tabel 4: Maximale dwarscomponent (dieptegemiddeld) langsheen het vaartraject Pas van het Zand en spervenster (per 24u) op basis van maximaal toegelaten dwarsnelheden 2 en 1,5 knoop, springtij.

| Scenario | Max. Dwarscomponent | Verschil dwarscomp. | Spervenster 2kn | Verschil spervenster 2kn | Spervenster 1.5kn | Verschil spervenster 1,5kn |
|---|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| | kn | % | u:mm | % | u:mm | % |
| Huidige toestand | 2.97 | | 03:30 | | 06:10 | |
| Toestand 1970 | 2,60 | -12% | 02:40 | -24% | 03:50 | -38% |
| Scenario Kustboog | 2,12 | -29% | 01:10 | -67% | 03:10 | -49% |
| Scenario 0 | 2,88 | -3% | 03:20 | -5% | 08:20 | 35% |
| Scenario A | 2,92 | -2% | 03:20 | -5% | 08:50 | 43% |
| Scenario A1 | 2,90 | -3% | 03:20 | -5% | 08:00 | 30% |
| Scenario B | 2,92 | -2% | 03:30 | 0% | 09:20 | 51% |
| Scenario C | 2,90 | -3% | 03:20 | -5% | 07:00 | 13% |
| Scenario C1 | 2,88 | -3% | 03:20 | -5% | 06:00 | -3% |
| Scenario D | 2,90 | -3% | 03:20 | -5% | 09:10 | 49% |
| Scenario E | 2,92 | -2% | 03:20 | -5% | 06:30 | 5% |
| Scenario E1 | 2,92 | -2% | 03:20 | -5% | 05:30 | -11% |
| Scenario E2 | 2,90 | -3% | 03:20 | -5% | 05:10 | -16% |
| Scenario E3 | 2,90 | -3% | 03:20 | -5% | 05:50 | -6% |
| Scenario E4 | 2,92 | -2% | 03:20 | -5% | 05:00 | -19% |
| Scenario F1 | 2,76 | -7% | 03:00 | -14% | 04:49 | -22% |
| Scenario H1 - Pilot Eiland | 2,94 | -1% | 03:20 | -5% | 06:00 | -3% |
| Scenario I1 - Duinengordel | 2,00 | -33% | 00:10 | -95% | 03:00 | -51% |
| Scenario I2 - Duinengordel ¹ | 1,05 | -31% | 00:20 | -91% | 4:50 | -22% |

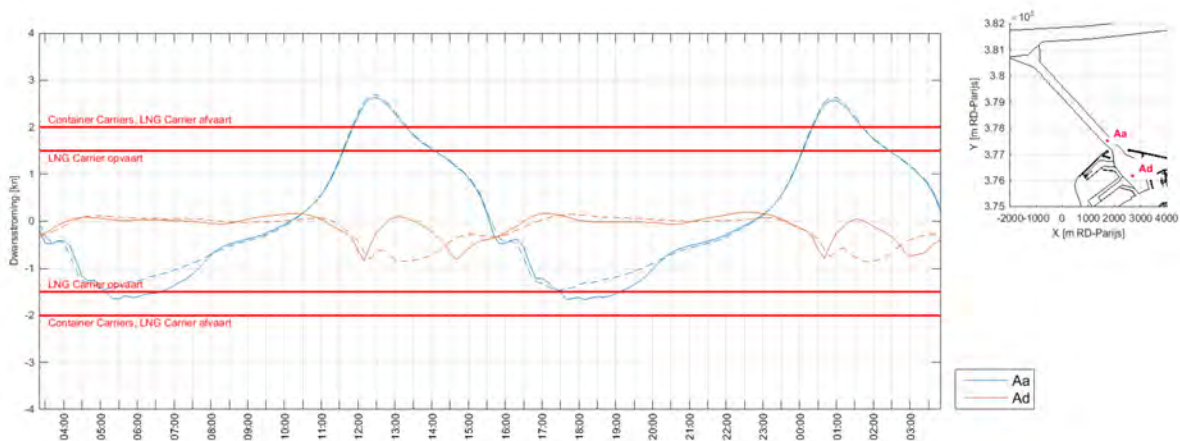
¹ Scenario I2 - Duinengordel voorziet geen permanente doorgang in de duinengordel ter hoogte van Zeebrugge

De maximale dwarsnelheid wordt door de ingrepen nauwelijks beïnvloed. De dwarsstroming is maximaal tijdens vloedstroming. Aan de westelijke kant van de haven van Zeebrugge zijn in de bestudeerde scenario's geen wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie doorgevoerd, waardoor het stromingspatroon tijdens de vloed slechts beperkt beïnvloed wordt door de ingrepen aan de oostzijde van Zeebrugge.

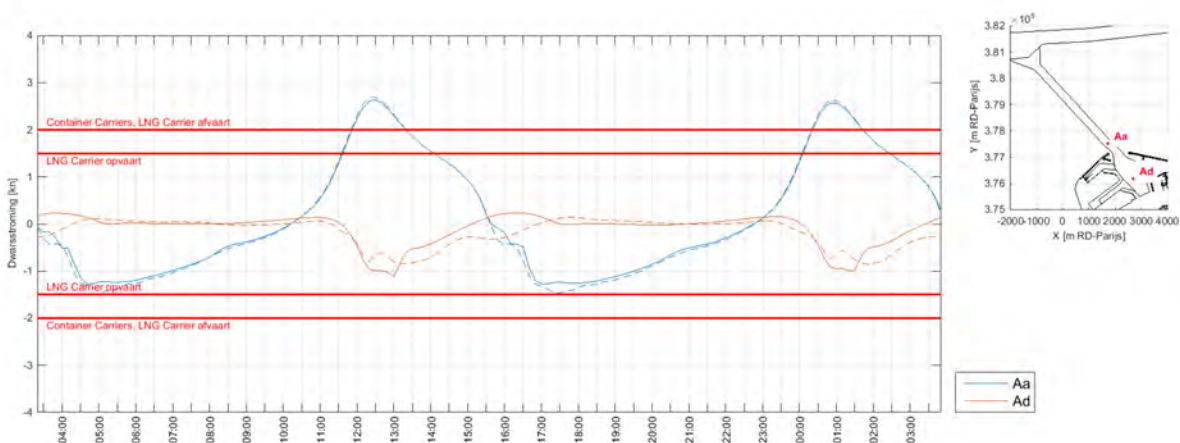
De ingrepen hebben slechts een beperkt effect op het spervenster voor 2kn. Dit omdat dwarsnelheden van 2kn en hoger uitsluitend tijdens de vloedfase voorkomen. Voor de limietwaarde van 1,5 knoep hebben de ingrepen wel een significant effect, in het bijzonder op het spervenster tijdens de ebfase. Scenario's 0 tot D hebben een negatief effect op het spervenster terwijl de scenario's E, F en I een positief effect lijken te hebben. Men dient hierbij wel de bedenking te maken dat de af/toename van snelheid langsheen het traject Pas van het Zand echter beperkt is, zie verschilplots in Bijlage C. Omdat in de simulatie van de huidige toestand de maximale dieptegemiddelde snelheid bij eb op de meest plaatsen net onder de 1,5kn ligt, is een kleine toe- of afname voldoende om een effect te hebben op het spervenster. Dit is geïllustreerd in Figuur 32 voor scenario A. En het omgekeerde is geïllustreerd in Figuur 33 voor scenario E4.

De ingrepen aan de oostelijke zijde van de haven van Zeebrugge zorgen niet alleen langs de kust voor een gewijzigd stromingspatroon, ook dieper in zee zien we veranderingen. Zowel tijdens de vloed als de eb loopt de stroomsterkte in de vaargeul Wielingen licht op. Zie figuren in Bijlage B.

Het Pilooteiland heeft geen significant effect op de stroming voor de haven. Een aaneengesloten duinengordel zoals in scenario I1 is de ultieme uitwerking van het concept *gladde kust*. De stroming ter hoogte van de toegangsvaargeul worden maximaal verlaagd en het spervenster wordt sterk gereduceerd.



Figuur 32: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. Volle lijnen: Vlaamse Baaien scenario A, streepjeslijnen: huidige toestand



Figuur 33: Dwarsstroming op het vaartraject Pas van het Zand buitengaats (Aa) en in het CDNB (Ad) bij springtij. Volle lijnen: Vlaamse Baaien scenario E4, streepjeslijnen: huidige toestand

3.5.3 Stromingen rond de eilanden en langs het tracé voor estuaire vaart

Het ontwerp van de ingrepen is een iteratief proces. In onderstaande paragrafen wordt dit proces nader toegelicht. Focus in dit proces is de stroming ter hoogte van het traject voor Estuaire vaart zo laag mogelijk te houden om de toegankelijkheid voor de binnenscheepvaart zo hoog mogelijk te houden. Tevens wordt ook rekening gehouden met de stroming tussen de eiland omdat deze een effect zullen hebben op de stabiliteit van de eilanden en dammen. De maximaal optredende snelheden zijn voor alle scenario's weergegeven in Bijlage B.

Voor estuaire vaart via dit tracé zijn nog geen limietwaarden wat betreft dwars- en langsstroming vastgelegd. Voor de beoordeling van de toegankelijkheid voor binnenvaart wordt onderstaande tabel gebruikt² (Tabel 5). Het verloop van de dwars en langsstroming langsheen het vaartraject voor estuaire vaart is voor elk scenario weergegeven in Bijlage D. In Tabel 6 zijn de maximaal optredende dwars- en langsstromingen langsheen het traject samengevat. Men dient hierbij op te merken dat de locaties waar de limieten overschreden worden bepalend zullen zijn voor de beoordeling van de toegankelijkheid. Een sterke dwarsstroming voor de haveningang is uiteraard niet gewenst, maar ook sterke langsstroming in het nauwe kanaal dat de toegang vormt naar de haven kan gevolgen hebben voor de manoeuvreerbaarheid van het schip. Dit wordt verder besproken in onderstaande secties.

Tabel 5: Beoordeling traject estuaire vaart

| Dwarscomponent [knoop] | | Langscomponent [knoop] | Beoordeling |
|------------------------|----|------------------------|---|
| $V_t \leq 0,5$ | en | $V_n \leq 1$ | Veilig |
| $0,5 < V_t \leq 1$ | of | $1 < V_n \leq 2$ | Veiligheid verder te beoordelen met behulp van simulatorstudies |
| $V_t > 1$ | of | $V_n > 2$ | Verwacht wordt dat er bijkomende maatregelen nodig zullen zijn om de veiligheid te garanderen |

Tabel 6: Maximale dwars- en langsstroming [kn] langsheen het vaartraject estuaire vaart

| Scenario | Max. dwarscomponent [kn] | Max. langscomponent [kn] |
|-------------|--------------------------|--------------------------|
| Scenario 0 | 2.43 | 4.02 |
| Scenario A | 2.33 | 3.40 |
| Scenario A1 | 2.24 | 2.95 |
| Scenario B | 2.25 | 3.44 |
| Scenario C | 1.81 | 3.48 |
| Scenario C1 | 1.85 | 3.79 |
| Scenario D | 2.22 | 2.92 |

² Mondelingen communicatie prof. dr. ir. M. Vantorre

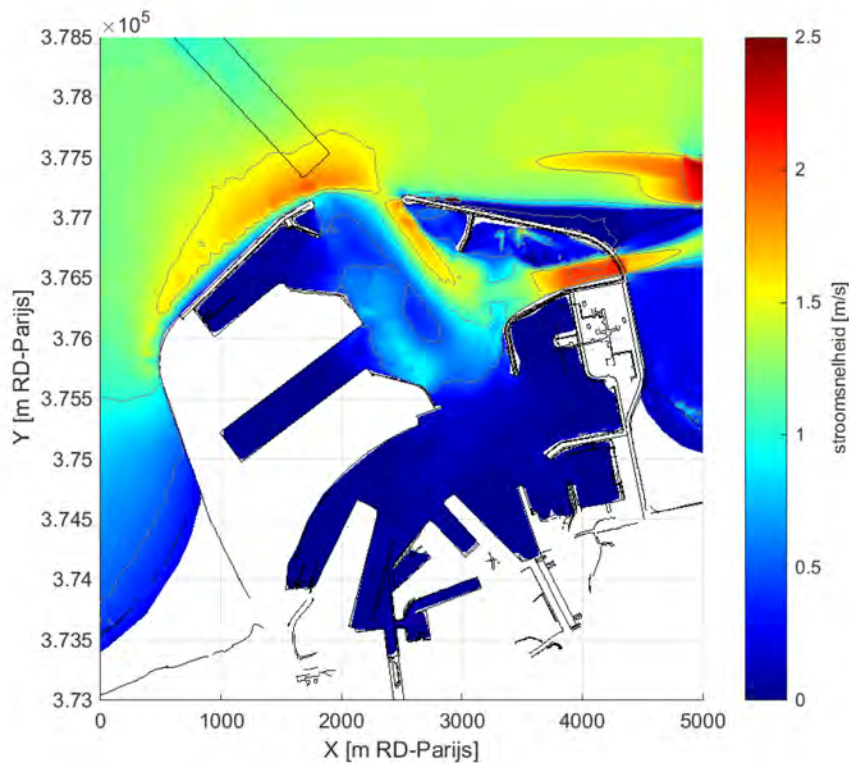
| | | |
|-------------|------|------|
| Scenario E | 2.20 | 3.15 |
| Scenario E1 | 2.20 | 2.94 |
| Scenario E2 | 2.16 | 3.27 |
| Scenario E3 | 3.01 | 2.90 |
| Scenario E4 | 2.99 | 2.53 |
| Scenario F1 | 2.95 | 2.74 |

De effecten van de scenario's op de stroomsnelheden en stroomrichting worden hieronder opgedeeld in twee groepen: een eerste groep waar er slechts één doorgang is tussen de eilanden en/of de oostelijke havendam (scenario's 0, A, A1, B, C, C1), en een tweede groep scenario's waar er meerdere openingen in de barrière van eilanden zijn (scenario's D, E1, E2, E3, F1). Het scenario H1-pilooteiland wordt apart besproken.

a. Scenariogroep 1

Al deze scenario's hebben als gemeenschappelijk element dat er slechts één opening is in de barrière die de eilanden vormen.

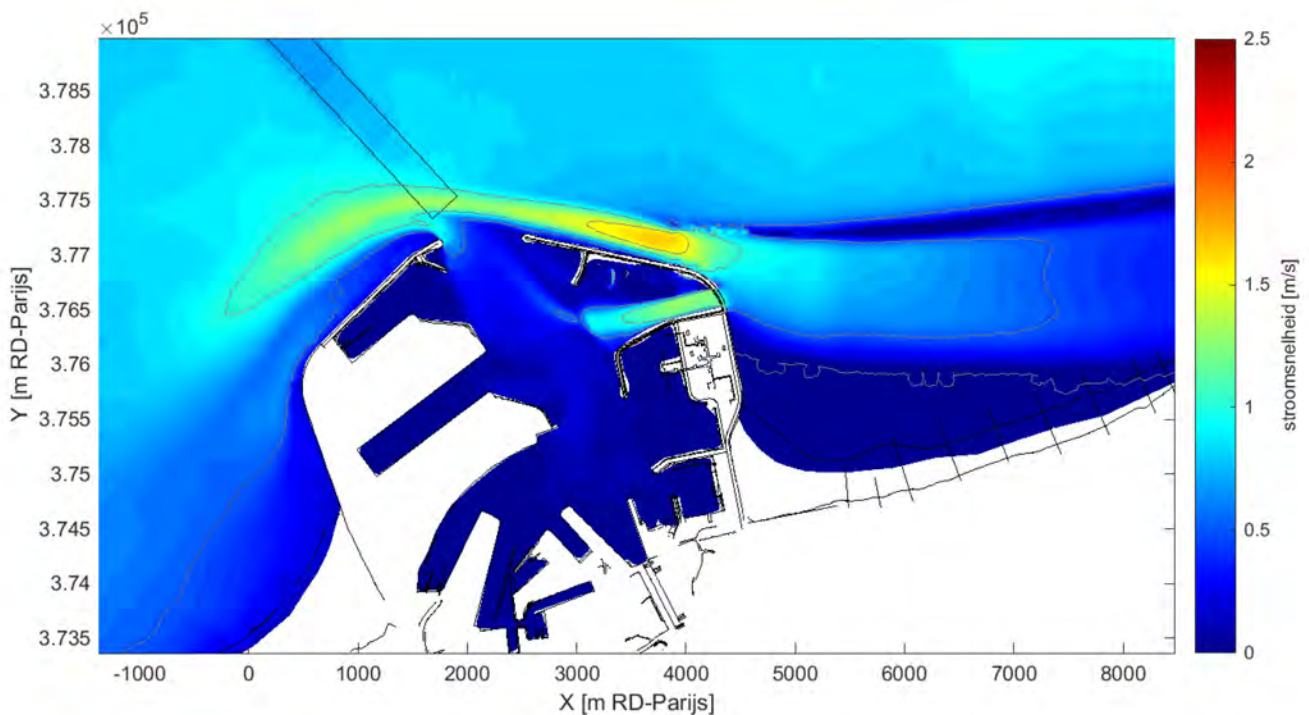
In Figuur 46 tot Figuur 51 op pagina 3 zien we dat tijdens de vloed zeer hoge stroomsnelheden voorkomen in de opening tussen de twee eilanden in alle scenario's. In scenario 0 is de stroomsterkte het grootst, tot meer dan 2,5 m/s. Deze stromingen worden veroorzaakt doordat de vloedstroming zich door een relatief smalle opening perst om de komberging tussen de eilanden en de kust op te vullen met water. Ook tijdens de eb zien we hoge stroomsnelheden in de opening tussen de twee eilanden. Ook in het kanaal dat de toegang tot de haven vormt worden hoge stroomsnelheden waargenomen tot meer dan 2 m/s (>3,9 kn), Figuur 34.



Figuur 34: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) in en voor het CDNB tijdens springtij - Vlaamse Baaien scenario 0 (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)

In scenario A werd ten opzichte van scenario 0 de breedte en oriëntering van de opening aangepast. Deze vergrote doorstroomopening heeft een belangrijk effect: de maximale stroomsnelheid tussen de oostelijke dam en het eiland daalt met ongeveer 15% tijdens de vloed en ongeveer 10% tijdens de eb. Om de stroomsnelheden nog verder te doen afnemen werd in scenario A1 het vrije volume, tussen de eilanden en de kust, de komberging, gereduceerd door het strand van de Baai van Heist tot het Zwin te verbreden (landwinning). Deze ingreep heeft het gewenste effect: de stroomsnelheden dalen nog verder (respectievelijk 10% en 12% tijdens de vloed en eb) en de duur waarin hoge stroomsnelheden voorkomen neemt ook verder af.

De oriëntering van de opening tussen de eilanden en het volume van de komberging tussen de eilanden en de kust zorgt ook voor veranderingen in de stroomsnelheid voor de huidige haveningang tijdens de eb. In de figuren in Bijlage B is duidelijk te zien dat in sommige scenario's de stroming bij eb zo gericht wordt dat de stroomsterkte voor de haveningang nog versterkt wordt. Scenario B is hier een goed voorbeeld van, zie ook onderstaande Figuur 35. Er is in dit scenario slechts één eiland dat bovendien de oostelijke havendam deels overlapt. Hierdoor is er tussen de oostelijke havendam en dit eiland een smalle opening die de oriëntering van de oostelijke havendam volgt. De sterke eb-stroming door deze opening wordt zo dwars op de haveningang gericht waardoor het spervenster waarin zeeschepen Zeebrugge niet kunnen binnenvaren vergroot, zie ook Tabel 4 op pagina 30. Dit fenomeen doet zich ook voor in scenario's A en A1.



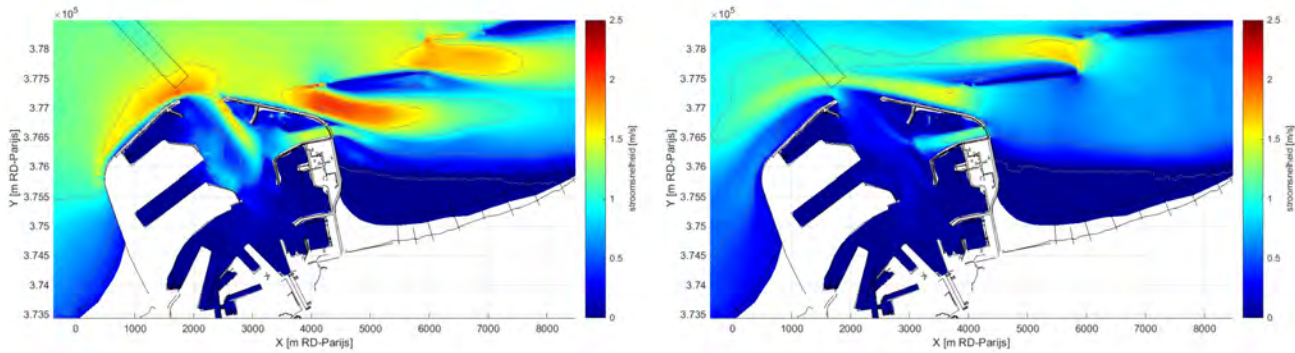
Figuur 35: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij springtij ebfase, scenario B (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)

In scenario C wordt getracht de positie van de opening tussen de oostelijke havendam en het eiland meer naar het oosten te verleggen zodat tijdens de eb de stroomsnelheid voor de haveningang niet zo hoog meer oploopt. Uit de gegevens van Tabel 4 blijkt dat dit lukt. De stroomsnelheden voor de haveningang zijn van dezelfde grootteorde dan in de huidige situatie. Wel zien we tijdens de vloed tussen de lange dam en het eiland in dit scenario een groot stromingsveld waar de stroomsnelheden hoog oplopen. Deze zone rijkt tot het vaartraject voor estuaire vaart, zie ook Figuur 85 op pagina 22. Om de stroomsnelheden nog verder naar beneden te brengen wordt in scenario C1 het eiland naar het zuiden toe uitgebreid. Door dit bredere eiland neemt het volume van de komberging tussen het eiland en de (verbrede) kust nog verder af. Deze ingreep heeft een positief effect: de gebieden met hoge stroomsnelheden in de opening verkleinen en tijdens de vloed daalt de maximale stroomsterkte in deze opening. De zone van het traject voor estuaire vaart dat beïnvloed wordt door de stroomversnelling tussen het eiland en de oostelijke dam is kleiner, maar lokaal wordt er wel tijdelijk een sterkere langsstroming waargenomen tot meer dan 2,5 kn (Figuur 86, p. 22). Op de hoge snelheden ter hoogte van de doorgang in de oostelijke havendam heeft deze ingreep geen effect.

b. Scenariogroep 2

Al deze scenario's hebben als gemeenschappelijk element dat er twee openingen zijn in de barrière die de eilanden vormen.

Tijdens de vloed zien we in scenario D dat in beide openingen tussen de eilanden grote stroomsnelheden ontstaan tot 1,7 m/s tijdens de vloed en 1,3 m/s tijdens de eb (Figuur 52, p. 5). Ook tijdens de eb wordt er voor de haveningang een jet gecreëerd die een effect kan hebben op het stroomvenster (Tabel 4, p. 30). Ook zien we dat door de meer noordelijke positie van het tweede eiland het watervolume tussen de eilanden en de (verbrede) kust is toegenomen, wat leidt tot een grotere komberging en dus meer wateruitwisseling. Ook in de haventoeegang in de oostelijke havendam worden hoge snelheden waargenomen: tot 1,4 m/s (2,7 kn) bij vloed en 1,16 m/s (2,25 kn) bij eb, Figuur 36.

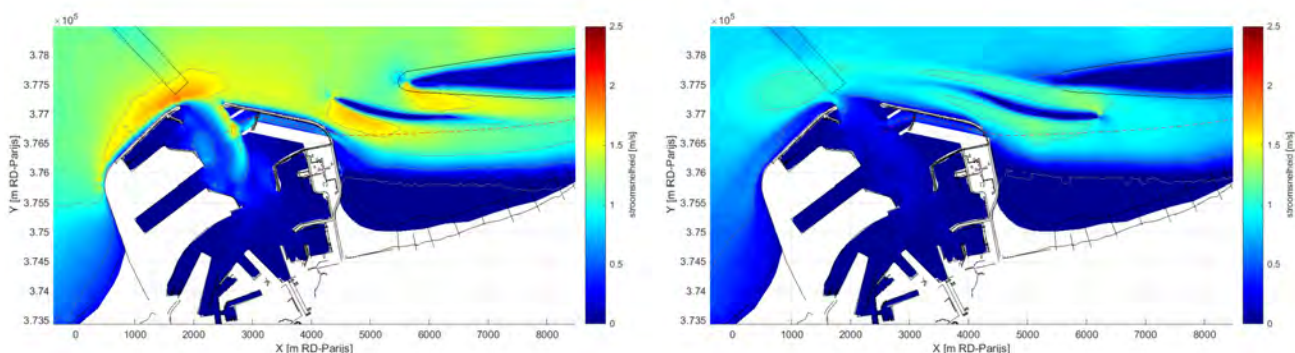


Figuur 36: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij vloed (links) en bij eb (rechts) - Vlaamse Baaien scenario D (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)

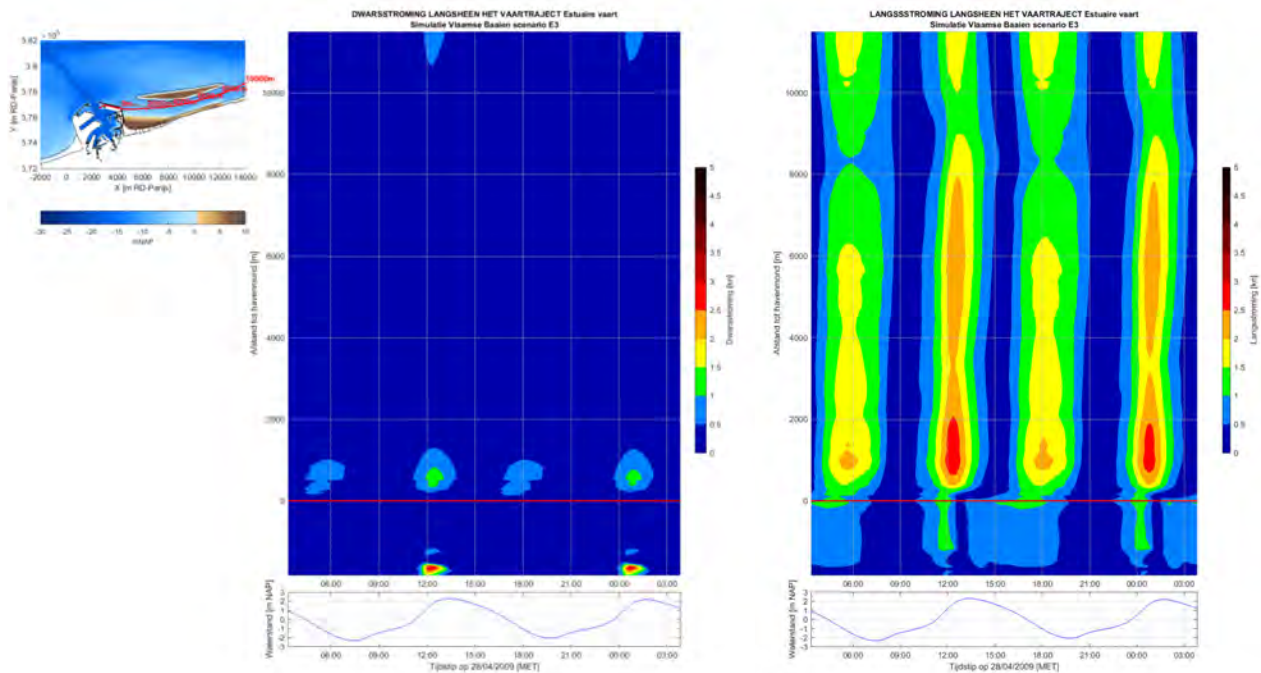
Wegens de hoge stroomsnelheden voor de haveningang tijdens eb wordt in scenario E de oriëntatie van de westelijke opening aangepast. In dit scenario zien we een sterke afname van de stroomsnelheid tijdens de vloed en de eb. Voor de haveningang zijn de stroomsnelheden van dezelfde grootteorde als in de huidige toestand. Om de stroomsterkte nog verder te doen afnemen is het tweede eiland in scenario's E1, E2 en E3 breder gemaakt zodat het volume van de komberging tussen de (verbrede) kust en de eilanden verder afneemt. Scenario E3 is een variant op scenario E1 waarbij het traject voor estuaire vaart binnen de havendammen is aangepast om toekomstige uitbreidingen van de LNG terminal te kunnen faciliteren.

De verbreding van het tweede eiland heeft het gewenste effect: De stroomsnelheid tussen de eilanden en de dam worden sterk gereduceerd. Ook de stroming in de toegang tot de haven in de oostelijke havendam wordt verder gereduceerd, Figuur 37. Wel zien we dat in scenario E2 tussen het eiland en de kust hoge stromingen ontstaan met langsstromingen langsheen het vaartraject tot meer dan 3kn tot gevolg (Figuur 90, p. 24).

Merk op dat in scenario E3 tijdens vloed bij het binnenvaren van het CDNB tijdelijk sterke dwarsstromingen kunnen ontstaan door de neervorming in het CDNB, zie ook Figuur 38. Deze dwarsstromingen in het CDNB worden ook waargenomen in de andere scenario's, zie figuren in Bijlage B en D, maar door de ligging van het tracé in scenario E3 worden deze nog verstrekt. Ook langsheen het traject buiten de haven worden langsstromingen waargenomen die de indicatieve waarden in Tabel 5 overschrijden. Of deze langsstromingen effectief een negatief effect hebben op de toegankelijkheid is afhankelijk van waar en wanneer in het getij deze precies optreden. Het effect op de toegankelijkheid kan best onderzocht worden in de scheepssimulator.

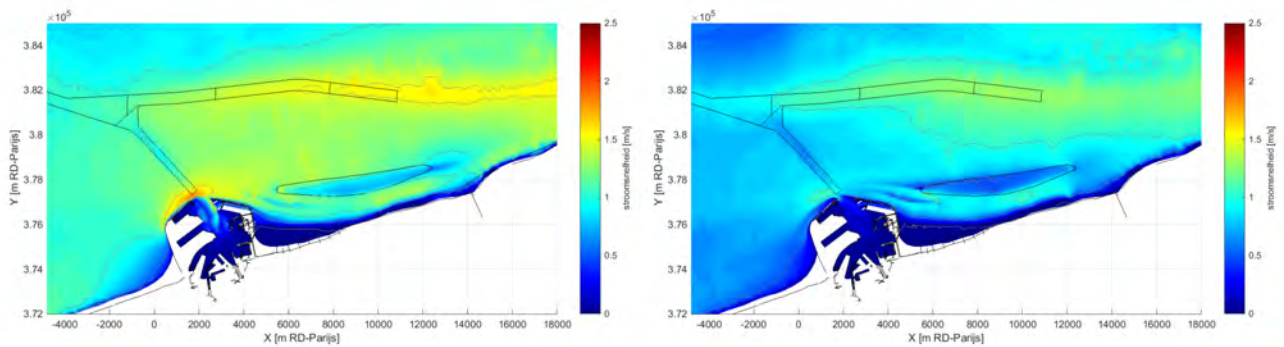


Figuur 37: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) bij vloed (links) en bij eb (rechts) - Vlaamse Baaien scenario E3, de streepjeslijn geeft het traject voor estuaire vaart weer. (interval contourlijnen 0,5m/s, contourlijnen van de haveninfrastructuur nog volgens de huidige configuratie)

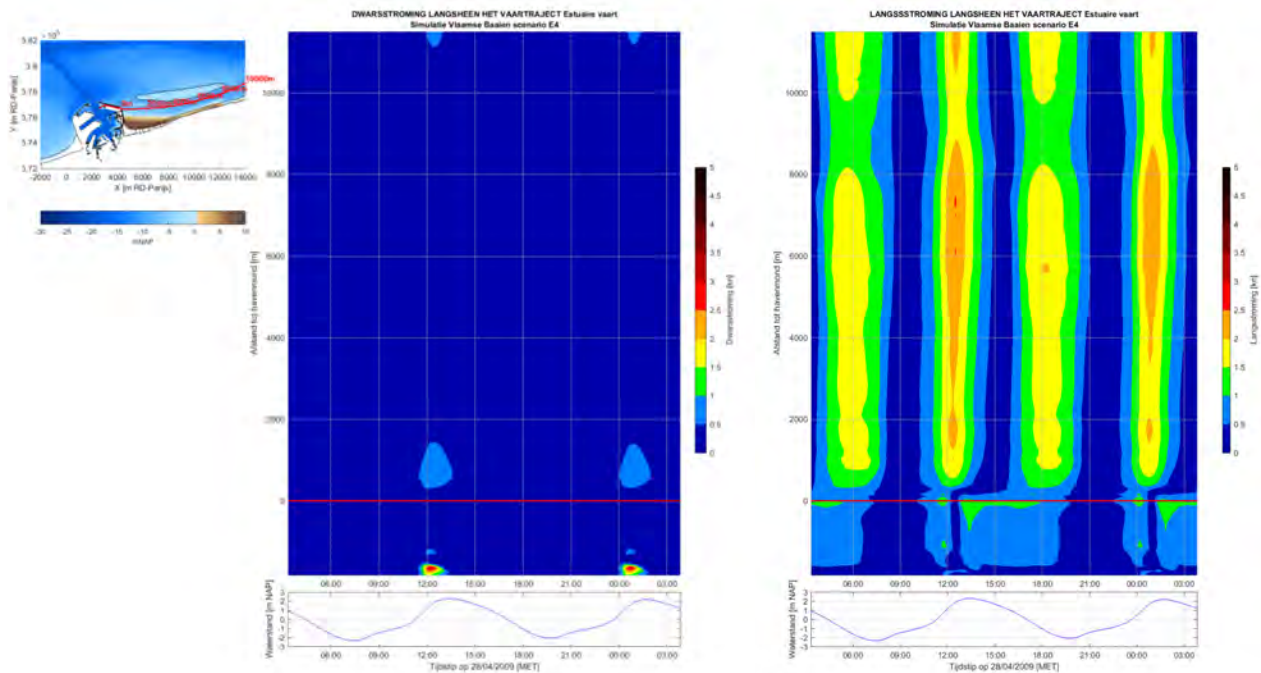


Figuur 38: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E3

In scenario E4 wordt de kruin van het eiland en de dam verlaagd tot 0 mLAT. De dam en het eiland zijn daarmee altijd overstroombaar. Dit zorgt voor een verdere verlaging van de stroomsnelheden tussen de eilanden en langsheen het traject voor estuaire vaart, Figuur 39 en Figuur 40. Het dient echter nog onderzocht te worden of een zandbank en dam tot 0 mLAT nog voldoende golfreductie oplevert om estuaire vaart te faciliteren in dit gebied.



Figuur 39: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E4 (interval contourlijnen 0,5m/s)

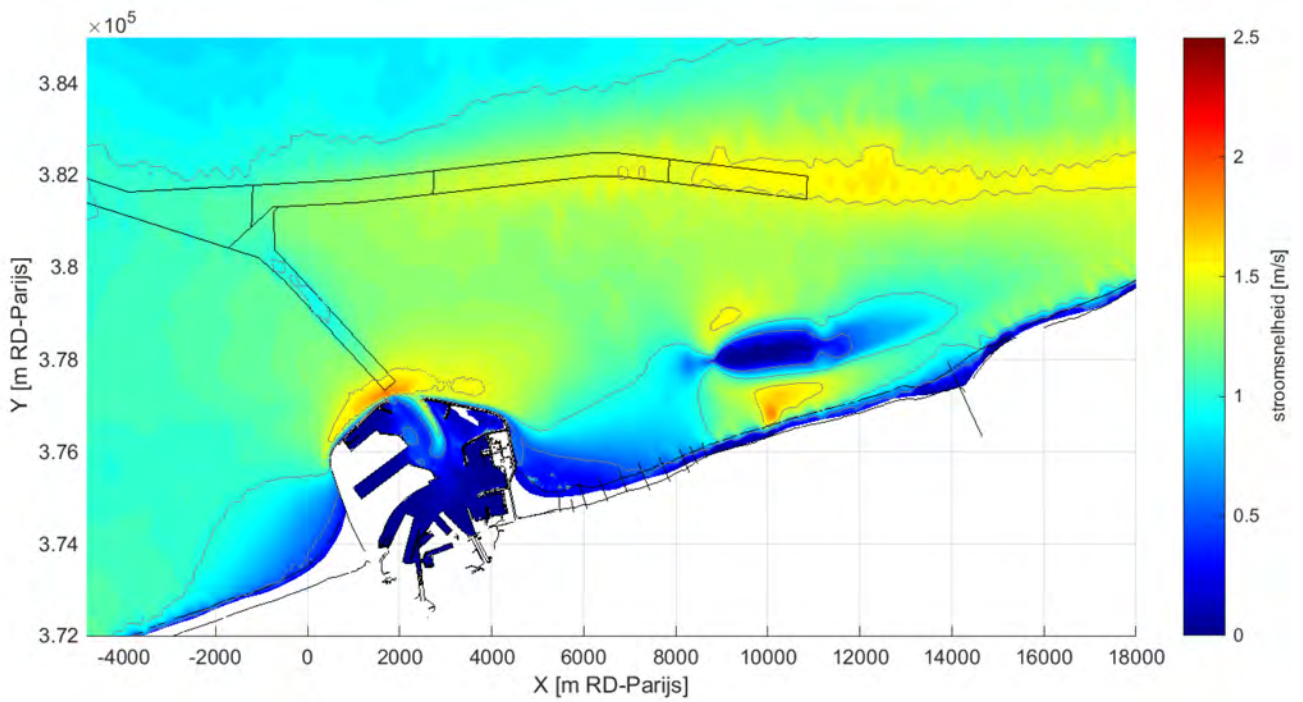


Figuur 40: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E4

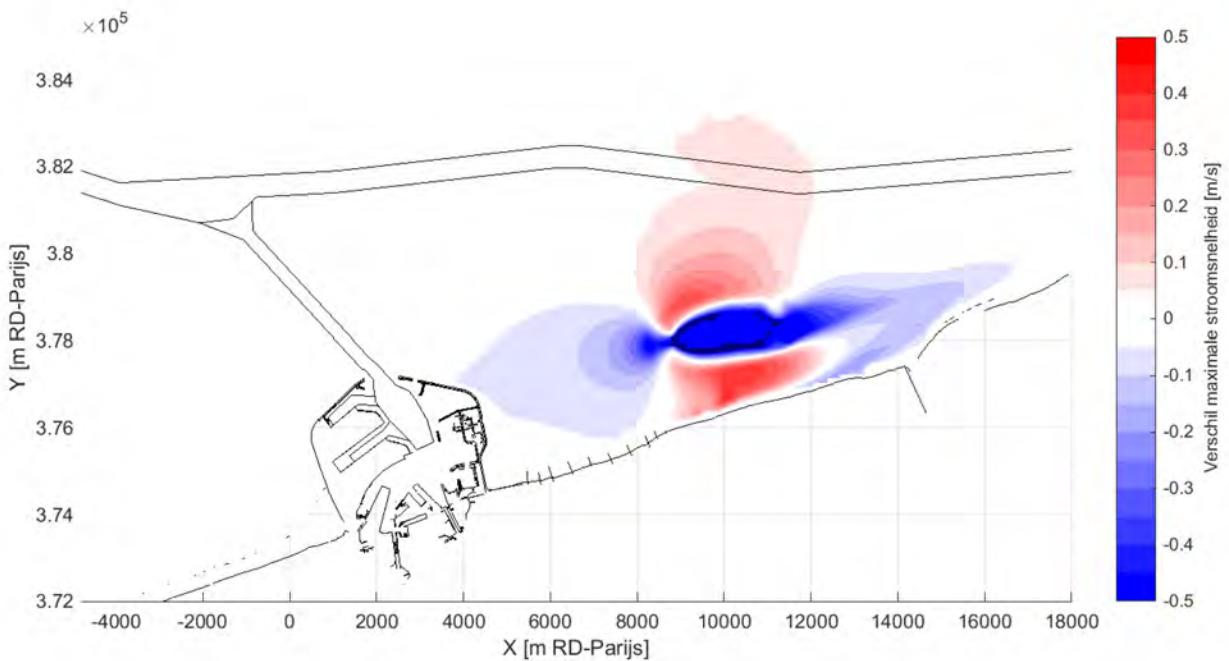
In scenario F1 zijn de dam en het eiland meer noordelijk aangelegd zodat de estuaire vaart de historische munitiestortplaats zoveel mogelijk kan ontwijken (gemarkeerde vijfhoek in de figuren). Om de stromingen onder controle te houden dient het strand nog meer verbreed te worden. Dit zou leiden tot een onrealistische strandsuppletie. De resultaten zijn opgenomen in de bijlage maar worden niet verder besproken.

3.5.4 Scenario H1 – Pilooteiland

In een eerste fase van de uitvoering van het masterplan is het de wens om een pilooteiland aan te leggen. Dit eiland zou aangelegd worden op de Paardenmarkt ter hoogte van het strand van Knokke. Kruinhoogte bedraagt 2,5 mNAP. Figuur 41 geeft de maximaal optredende snelheden (dieptegemiddeld) gedurende een volledig springtij (zie Figuur 59 op p. 7 voor de maximale stromingen tijdens vloed en eb). Figuur 42 geeft het verschil in maximale snelheden met de huidige toestand. Er is een verhoging van de snelheid waarneembaar ten noorden en ten zuiden van het eiland. De snelheid is maximaal voor de kust van Knokke. Ter hoogte van de vaargeul Pas van het Zand en Scheur West zijn geen verschillen waarneembaar. Enkel ter hoogte van Scheur Oost is een lichte toename (≈ 6 cm/s) van de maximale stroming waarneembaar. Men dient hierbij wel de opmerking te maken dat dit een eerste schets is van het pilooteiland. De vorm van het eiland dient nog verder geoptimaliseerd en uitgewerkt te worden.



Figuur 41: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens springtij - Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (interval contourlijnen 0,5m/s)



Figuur 42: Absoluut verschil in Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland - Huidige Toestand

CONCLUSIES

In dit rapport worden de scenario's die passen in het kader van Vlaamse Baaien en estuaire vaart mogelijk moeten maken hydrodynamisch beproefd aan de hand van een Telemac 3D-model. Het ontwerp van de eilanden is een iteratief proces waarbij er gezocht wordt naar een configuratie die geen nadelige effecten heeft op de toegankelijkheid voor de Zeevaart, de stroming tussen de eilanden onderling en de oostelijke havendam zo laag mogelijk houdt en zo weinig mogelijk storende dwars- en langsstroming langsheen het traject voor de estuaire vaart creëert.

Op basis van de hydrodynamische simulaties kan men stellen dat de opening tussen de eilanden en de oostelijke havendam voldoende breed moet zijn om geen verhoogde stromingen te veroorzaken bij eb ter hoogte van de huidige toegang tot de haven. Ook de richting van de geleidedam tussen het eiland en de havendam speelt hierbij een rol. Geen van de beproefde configuraties blijkt een significant positief effect te hebben op het huidige spervenster voor de Zeevaart. Enkel een *gladde kustboog* heeft een significant effect op de piekstromingen voor de haventoeegang.

Om de stromingen tussen de eilanden en de havendam, en in de nieuwe toegang tot de haven voor estuaire vaart onder controle te houden, blijkt een significante strandverbreding tussen Baai van Heist en het Zwin noodzakelijk. Dit beperkt de komberging tussen de eilanden en de huidige kustlijn.

Op basis van de simulaties werd scenario E3 als potentieel meest succesvol weerhouden. Dit scenario bestaat uit een lang eiland in combinatie met een geleidedam tussen het eiland en de oostelijke havendam. Binnen de havendammen is een kanaal voorzien voor estuaire vaart langs de oostelijke havendam om de bestaande LNG infrastructuur de mogelijkheid te bieden in de toekomst verder uit te breiden. Dit scenario zal verder geanalyseerd worden naar lokaal golfklimaat en morfologische respons. Ook de effecten op kustveiligheid en het Zwin dienen verder onderzocht te worden.

Het bleek niet mogelijk te zijn de dwars- en langsstromingen langsheen het traject voor estuaire vaart onder de vooropgestelde richtwaarden³ van 0,5 en 1kn te houden over het ganse traject gedurende het volledige springtij. Binnen het CDNB kunnen tijdens springtij lokaal en kortstondig dwarsstromingen voorkomen die deze streefwaarden overschrijden. Ook bij het verlaten van de haven via de doorgang in de Oostelijke havendam kunnen storende dwarsstromingen voorkomen. Effecten van de stroming op de toegankelijkheid voor de estuaire vaart dient via simulatiestudies verder onderzocht te worden. Het verlagen van de eilanden en geleidedam tot net onder de laagwaterlijn (0 mLAT) heeft een positief effect op de stromingen langsheen het tracé voor estuaire vaart (scenario E4). Analyse van het lokale golfklimaat moet echter uitwijzen of in dit scenario de golven nog voldoende gereduceerd worden, ook bij hoogwater, om estuaire vaart te faciliteren.

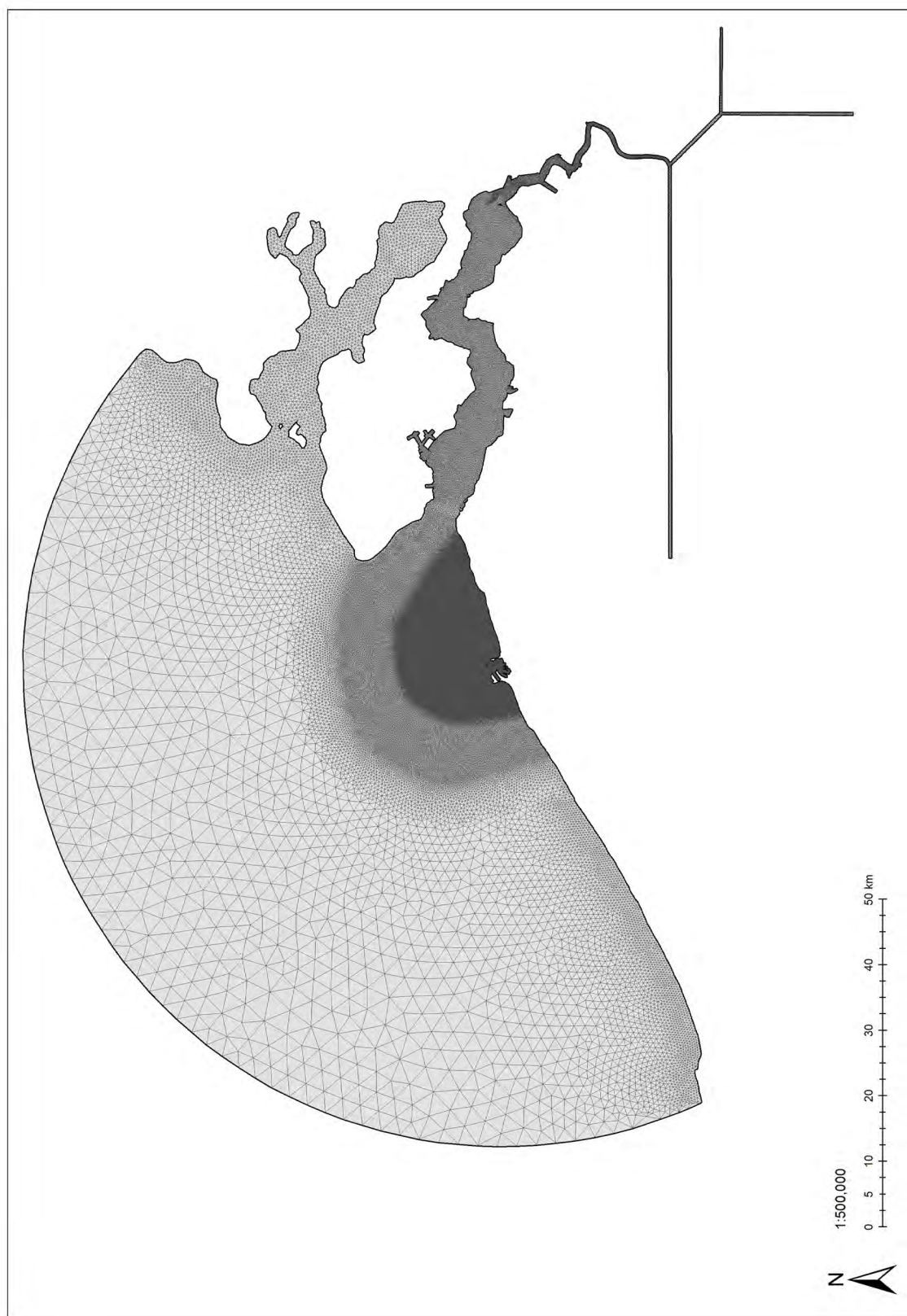
De simulaties van de scenario's die voorzien in de aanleg van een duinengordel op zee tonen aan dat de veranderingen in stroming zich voornamelijk beperken tot de omgeving van Zeebrugge en het mondingsgebied, en lokaal waar de duinengordel aansluit aan de huidige kustlijn ter hoogte van de Frans-Belgische grens. De aansluiting van de duinengordel ter hoogte van de grens is in de huidige scenario's eerder abrupt. Er is hier nog ruimte voor verbetering. Vergelijking van de scenario's met de duinengordel op 300m en op 1800m zeewaarts tonen aan dat voor de Westkust het zeewaarts uitbreiden van de zoekzone voor een vooruitgeschoven zeeeringslinie weinig effect heeft op de stromingen. Rond Zeebrugge en ten oosten van Zeebrugge is het eerder aangeraden de zoekzone zeewaarts te beperken tot een gladde kustboog rond Zeebrugge, hetgeen tevens het meest positief is met betrekking tot de toegankelijkheid van Zeebrugge voor de zeevaart. Voor de simulaties werden de huidige waterstanden en getijstroming gebruikt.

³ Communicatie prof. dr. ir. M. Vantorre

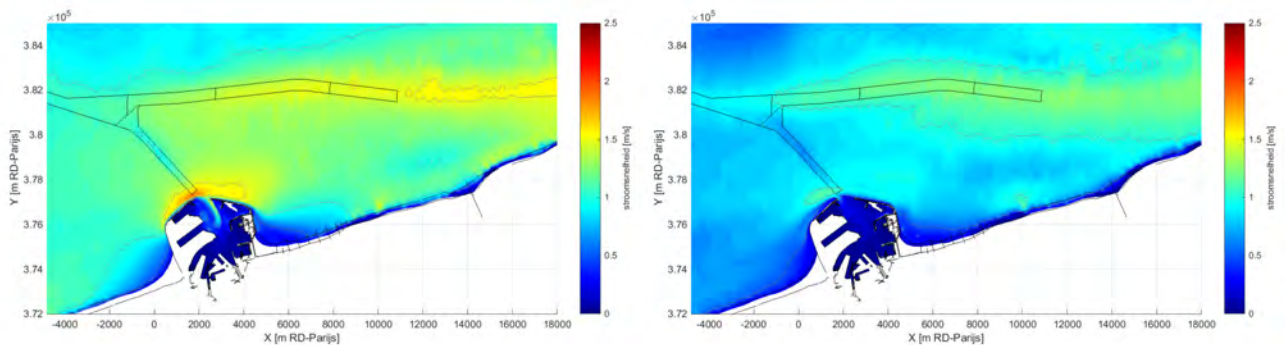
REFERENTIES

- AMT (2014): Masterplan Vlaamse Baaien, 75pp, Afdeling Maritieme Toegang, Departement MOW, Vlaamse Overheid. <http://mow.vlaanderen.be/vlaamsebaaien/masterplan.pdf>
- Dujardin, A., Vanlede, J., De Maerschalk, B., & Mostaert, F. (2011). Verbetering numeriek instrumentarium Zeebrugge: deelrapport 3 stromingsmodel met verfijnde rekenrooster voor Zeebrugge en de Pas van het Zand (WL Rapporten) (Vol. 753_08). Antwerpen: Waterbouwkundig Laboratorium.
- IMDC (2013): Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge – Leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek, Telemac model – Model set-up. I/RA/11401/12.202/ABR.
- IMDC (2015a): Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge – Leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek, Telemac model – Calibration and validation. I/RA/11401/12.242/ABR.
- IMDC (2015b): Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge – Leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek, Syntheserapport. I/RA/11401/14.270/VBA.
- IMDC(2015c): Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge – Leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek, Resultaten numeriek scenario-onderzoek Telemac Scenario Actual. I/RA/11401/12220/ABR.
- Van Zwijnsvoorde, T.; Vantorre, M. (2016). Zeewaartse binnenvaartverbinding voor Zeebrugge: Berekening van de scheepsresponsies voor scenario T0, E1 en F1 – vaarroute doorheen opening in de oostelijke dam en aanleg golfwerende constructies. Universiteit Gent, afdeling Maritieme Techniek.

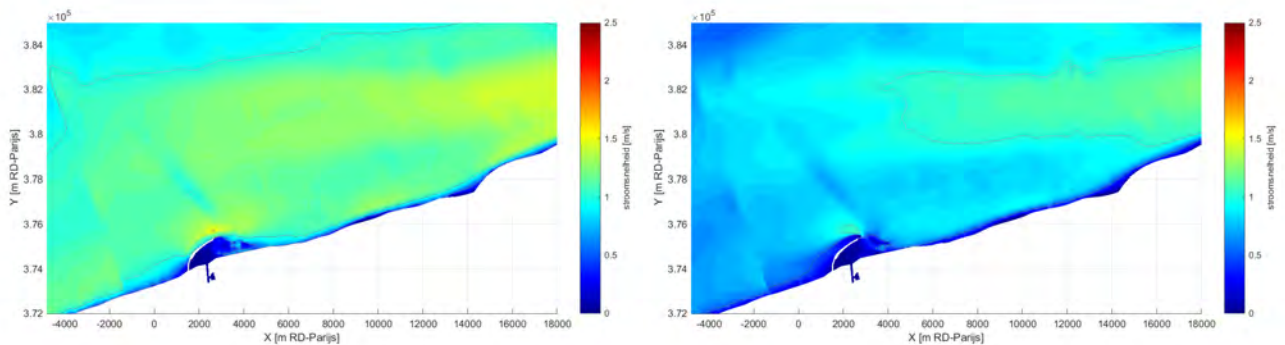
BIJLAGE A: REKENROOSTER VERFIJND MODEL



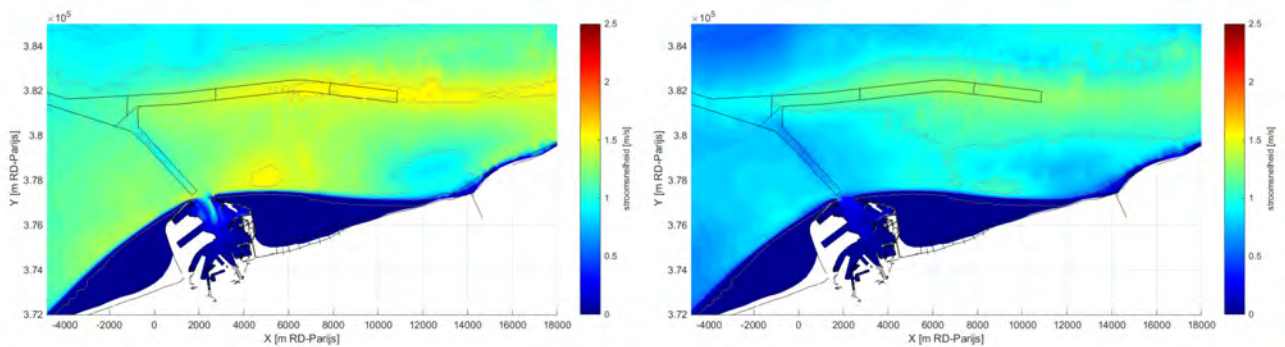
BIJLAGE B: MAXIMALE DIEPTEGEMIDDELDE STROOMSNELHEID TIJDENS VLOED- EN EBFASE



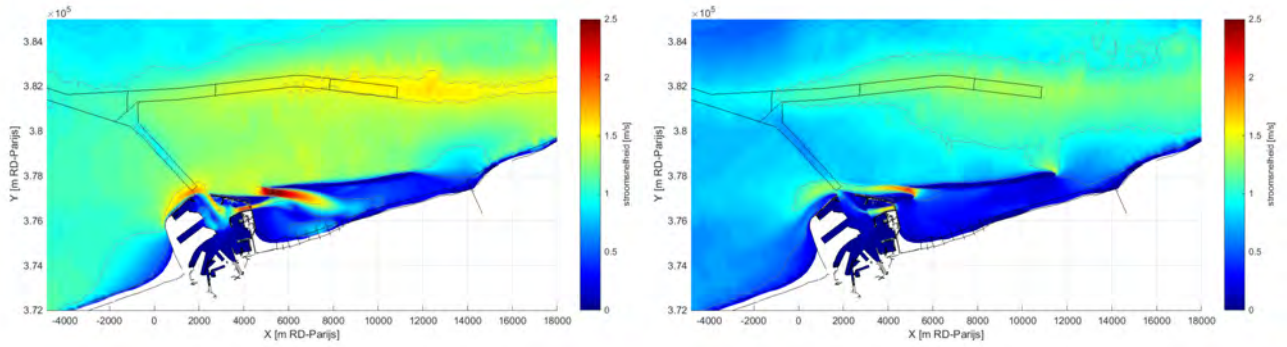
Figuur 43: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Huidige toestand (interval contourlijnen 0,5m/s)



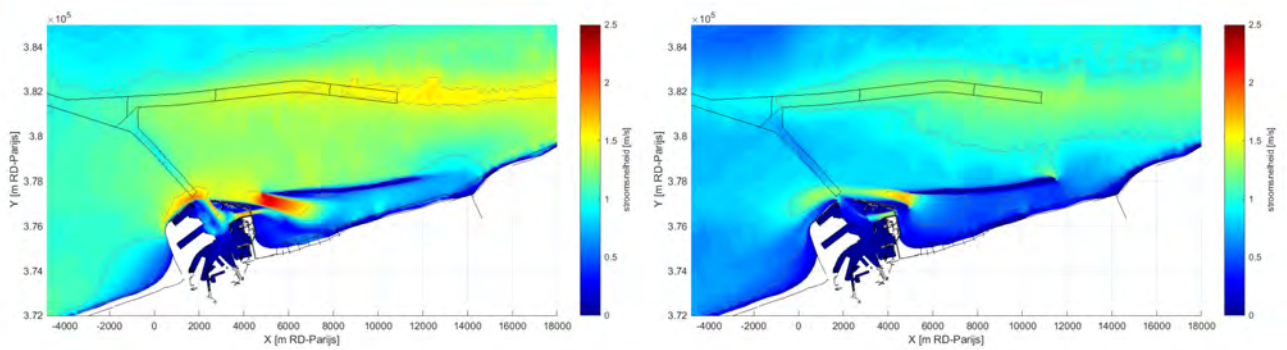
Figuur 44: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - 1979 (interval contourlijnen 0,5m/s)



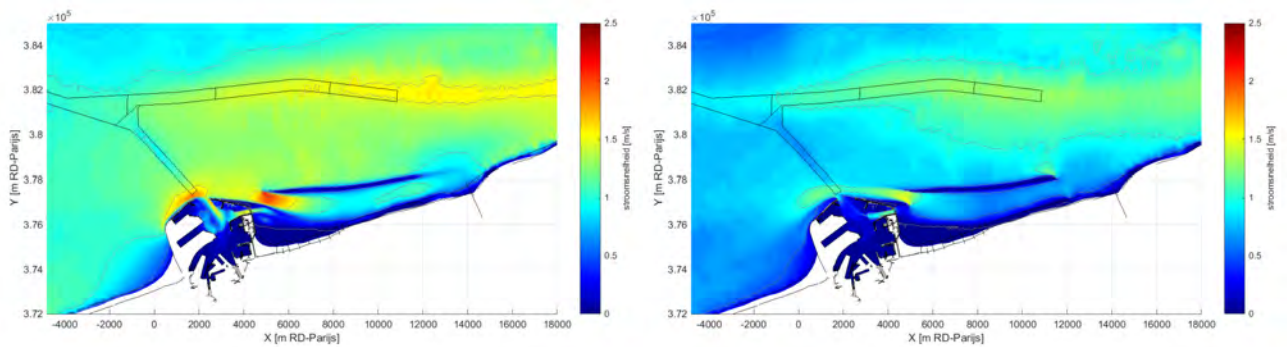
Figuur 45: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario Kustboog (interval contourlijnen 0,5m/s)



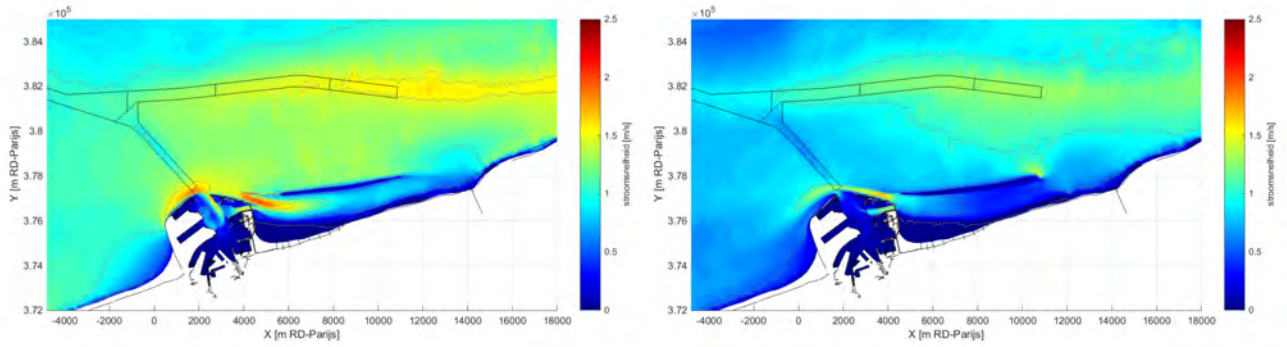
Figuur 46: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario 0 (interval contourlijnen 0,5m/s)



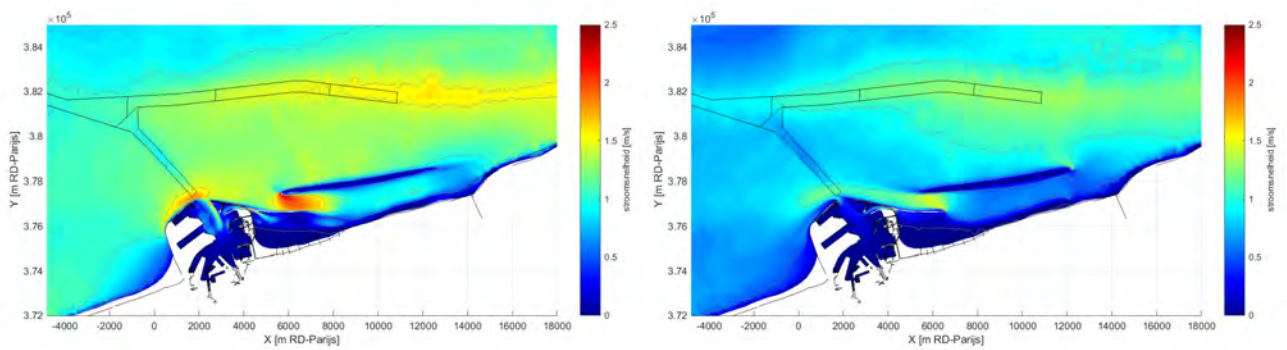
Figuur 47: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario A (interval contourlijnen 0,5m/s)



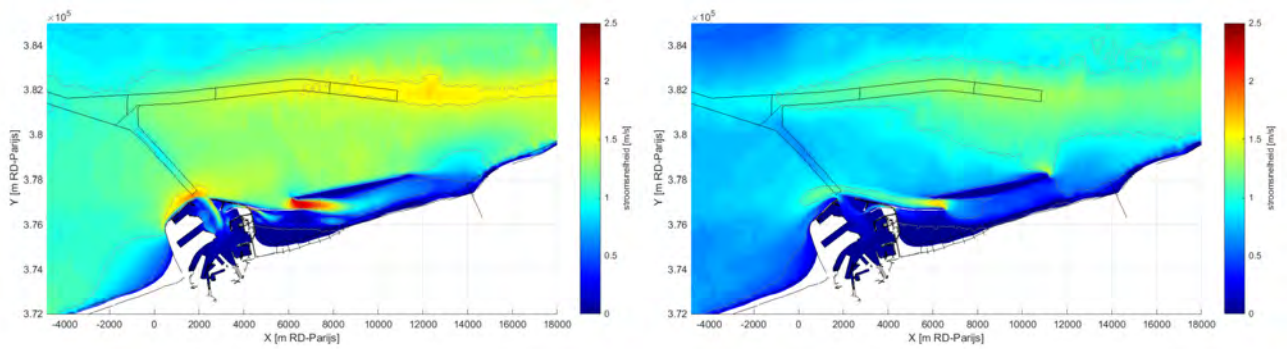
Figuur 48: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario A1 (interval contourlijnen 0,5m/s)



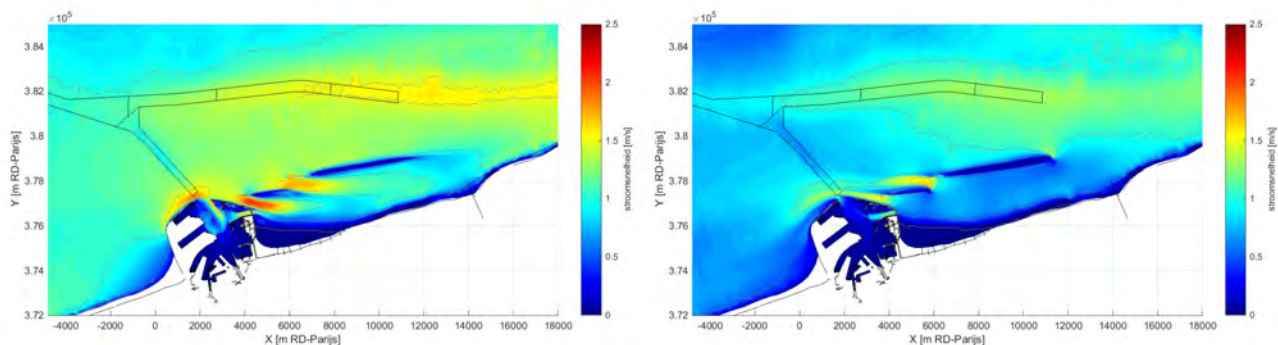
Figuur 49: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario B (interval contourlijnen 0,5m/s)



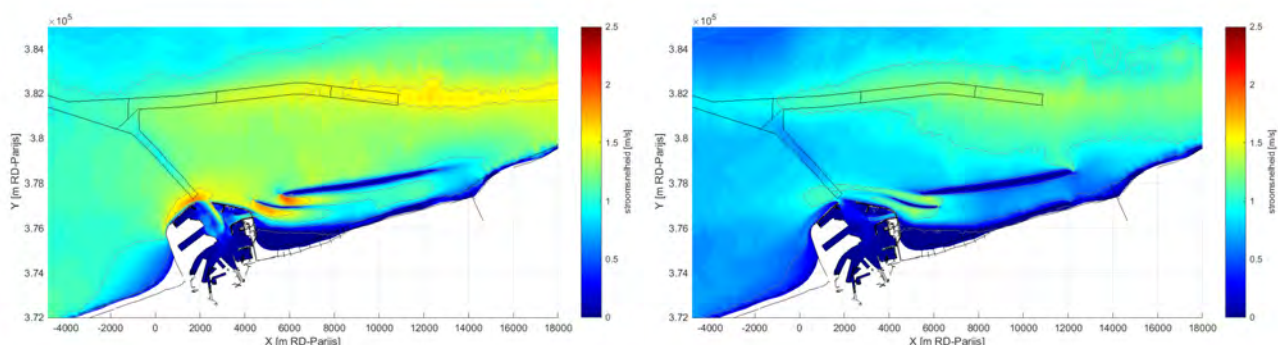
Figuur 50: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario C (interval contourlijnen 0,5m/s)



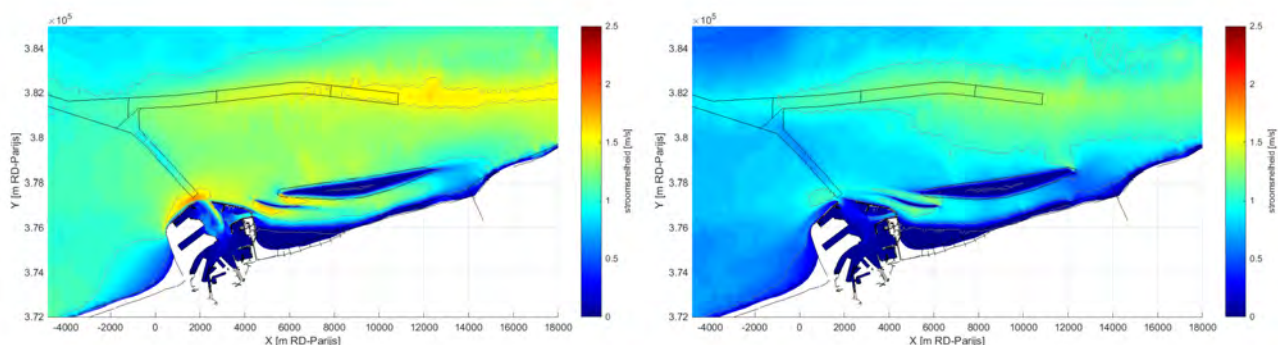
Figuur 51: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario C1 (interval contourlijnen 0,5m/s)



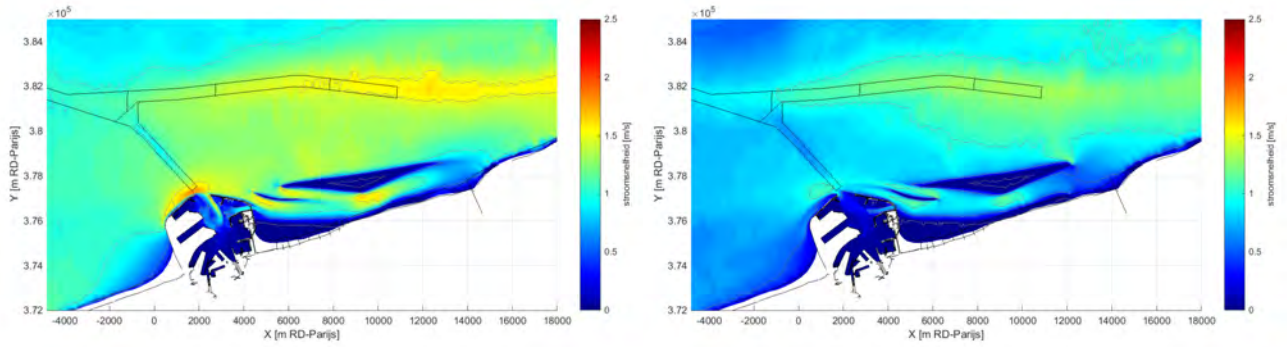
Figuur 52: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario D (interval contourlijnen 0,5m/s)



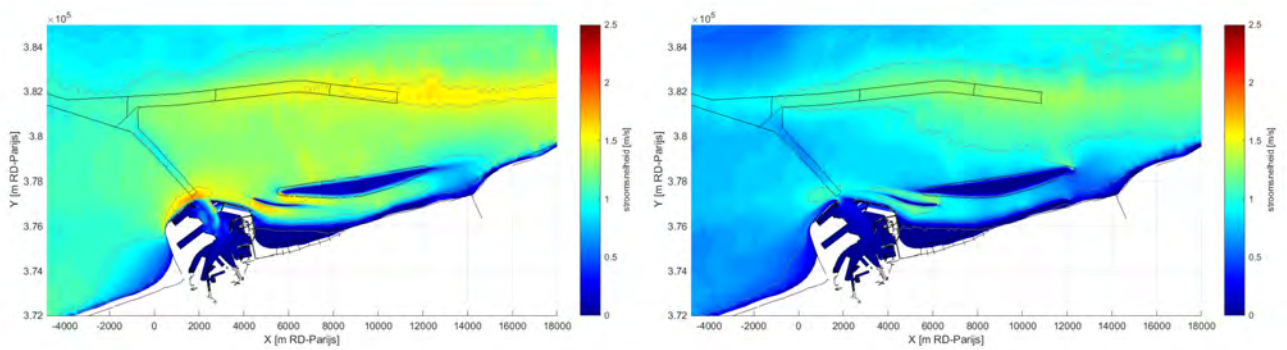
Figuur 53: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E (interval contourlijnen 0,5m/s)



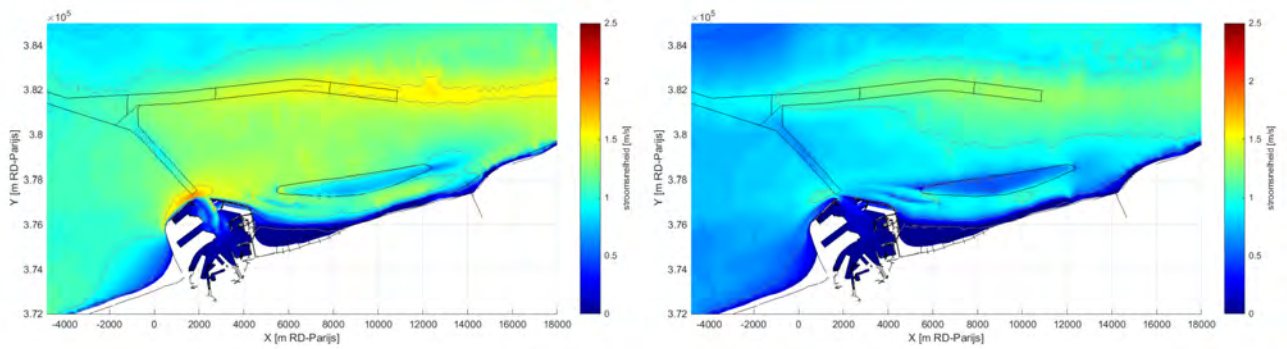
Figuur 54: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E1 (interval contourlijnen 0,5m/s)



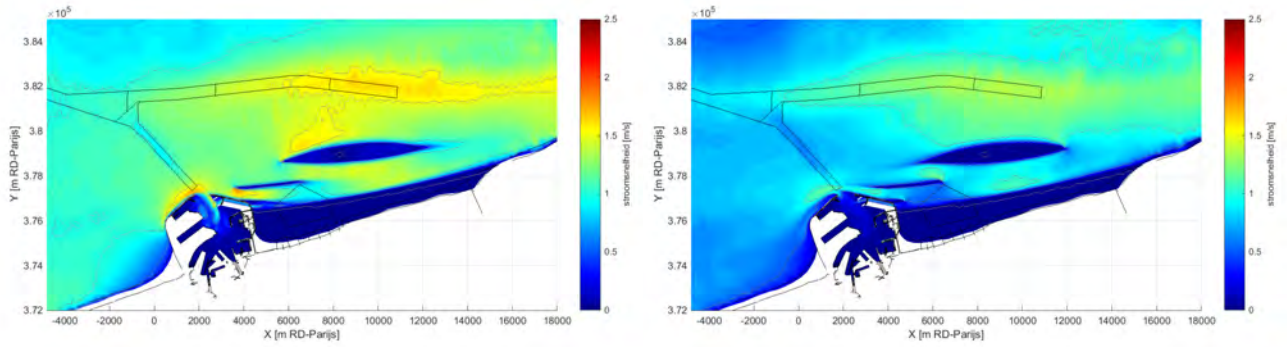
Figuur 55: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E2 (interval contourlijnen 0,5m/s)



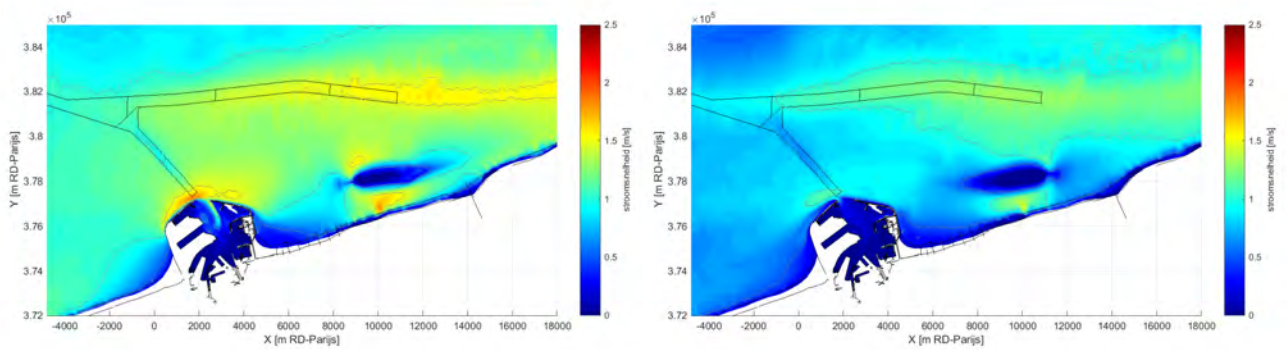
Figuur 56: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E3 (interval contourlijnen 0,5m/s)



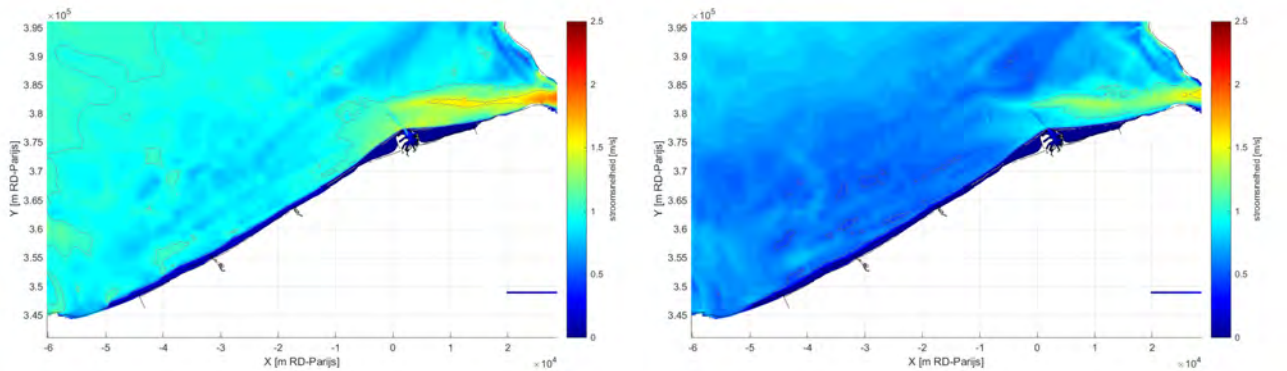
Figuur 57: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario E4 (interval contourlijnen 0,5m/s)



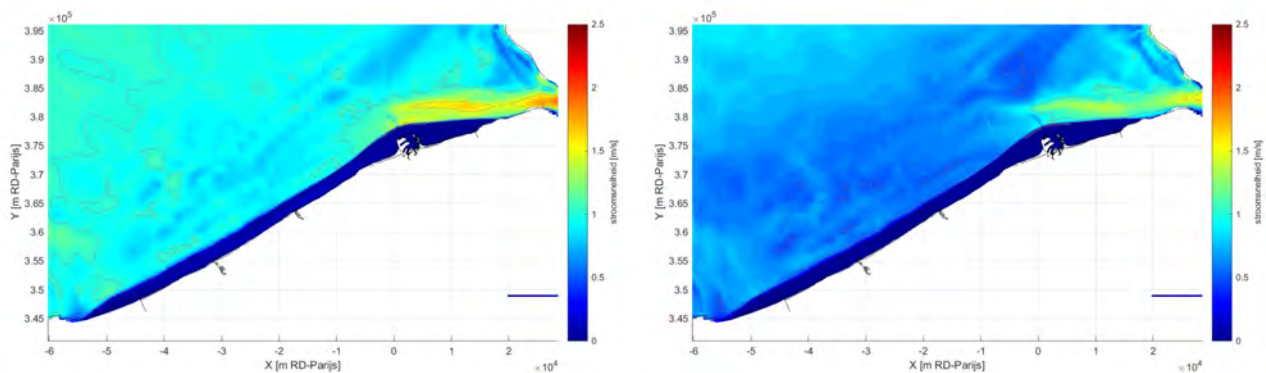
Figuur 58: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario F1 (interval contourlijnen 0,5m/s)



Figuur 59: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (interval contourlijnen 0,5m/s)

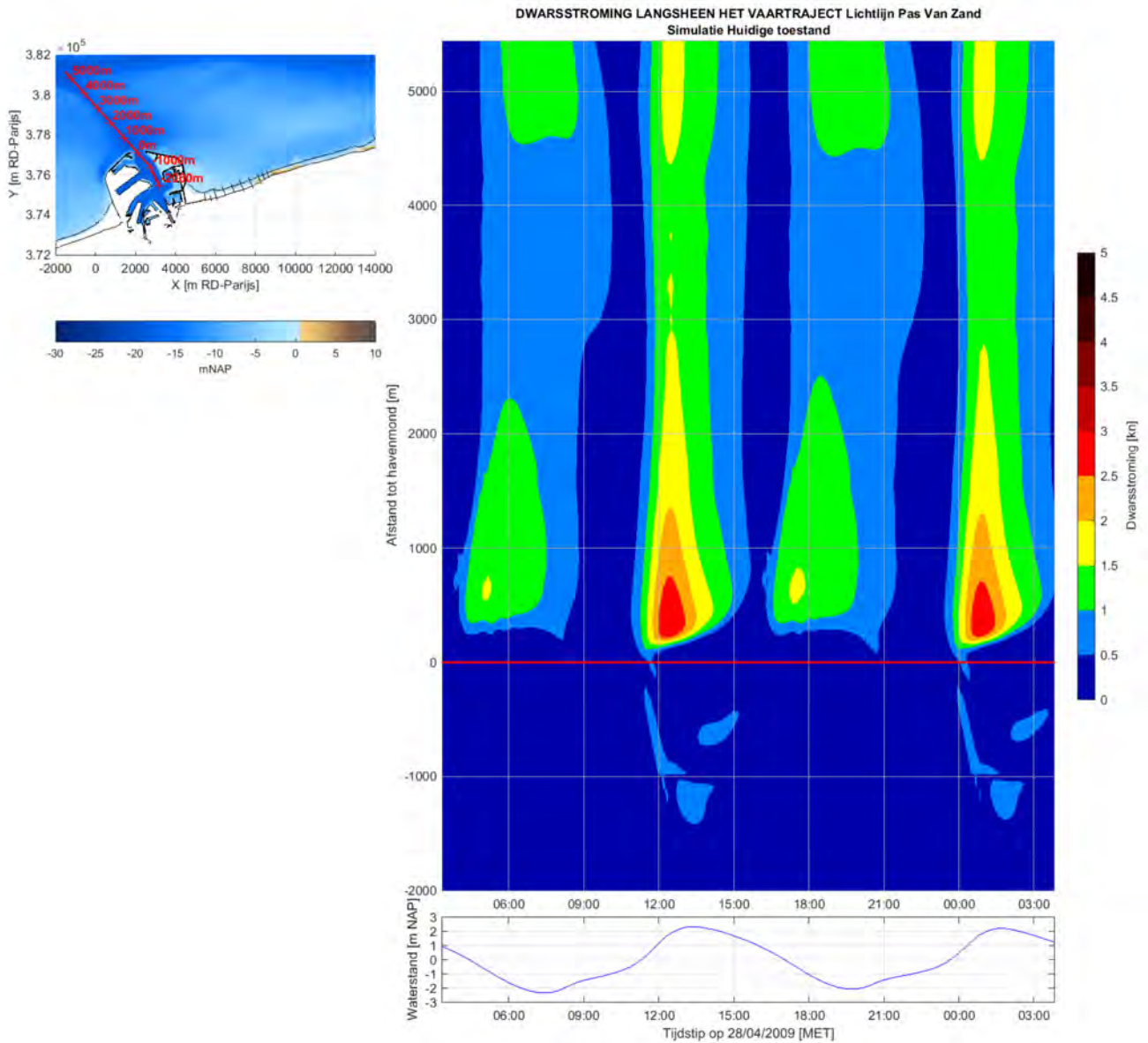


Figuur 60: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en ebfase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (interval contourlijnen 0,5m/s)

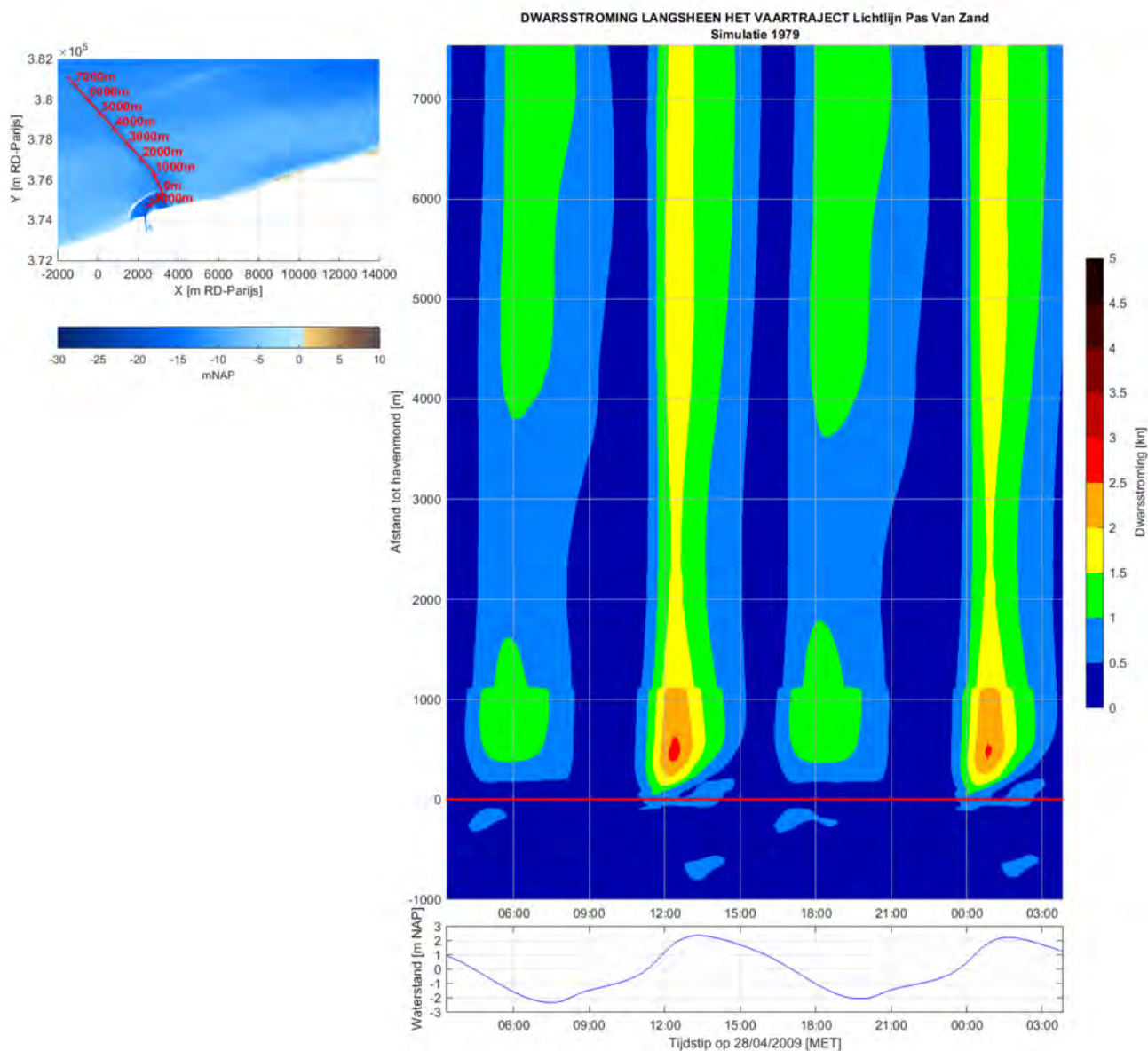


Figuur 61: Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s) tijdens vloed- (top) en eb fase (onder), springtij - Vlaamse Baaien scenario I2 - Duinengordel (interval contourlijnen 0,5m/s)

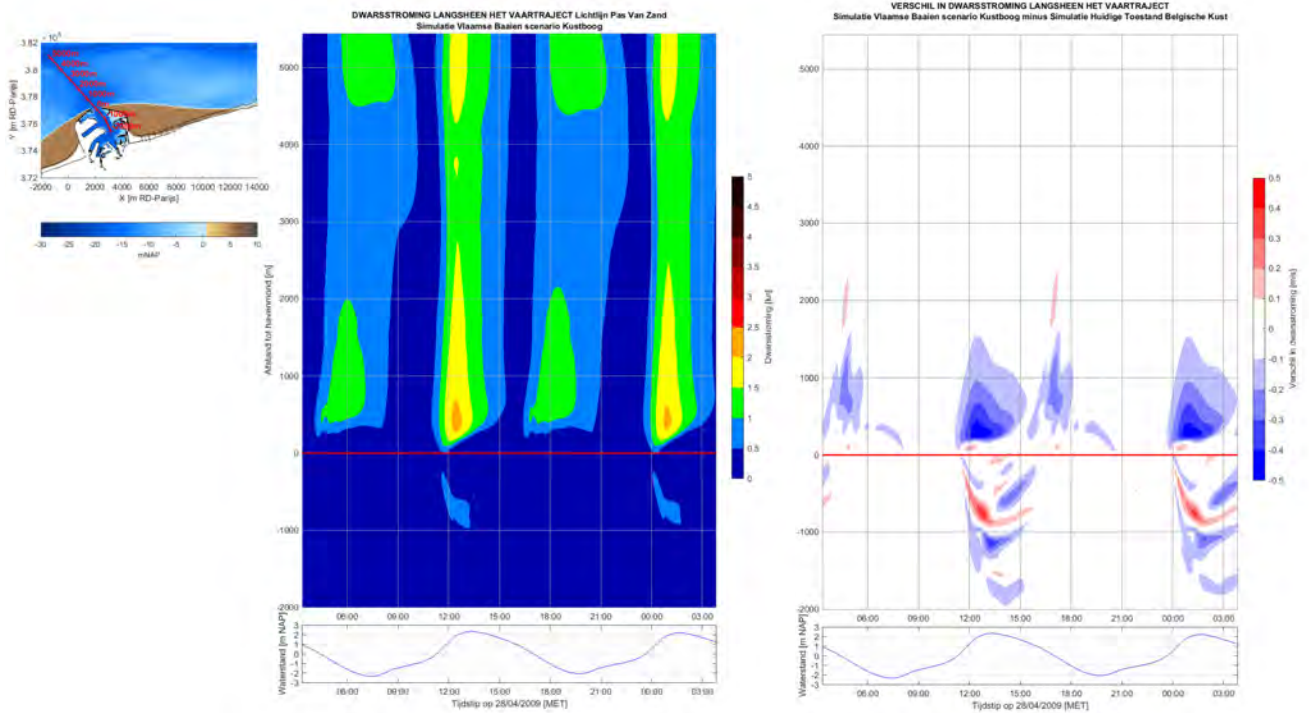
BIJLAGE C: DWARSSTROMING LANGSHEEN VAARTRAJECT PAS VAN HET ZAND



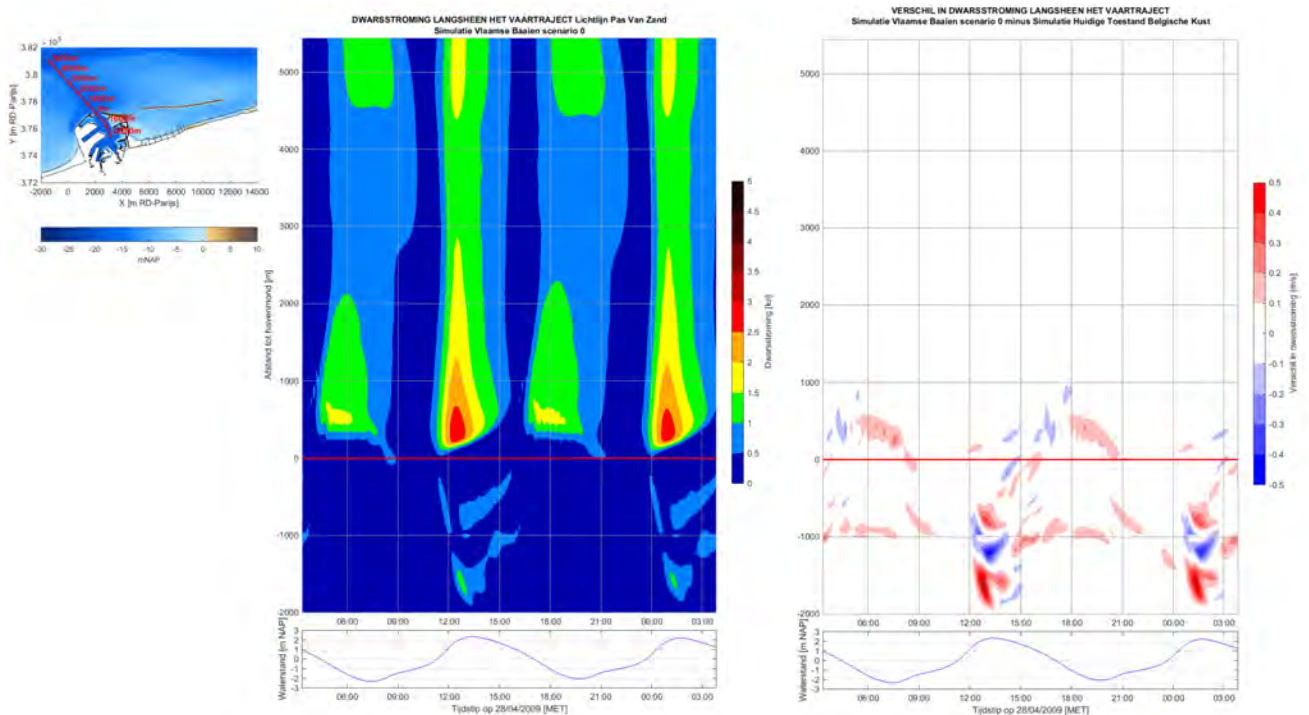
Figuur 62: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand.



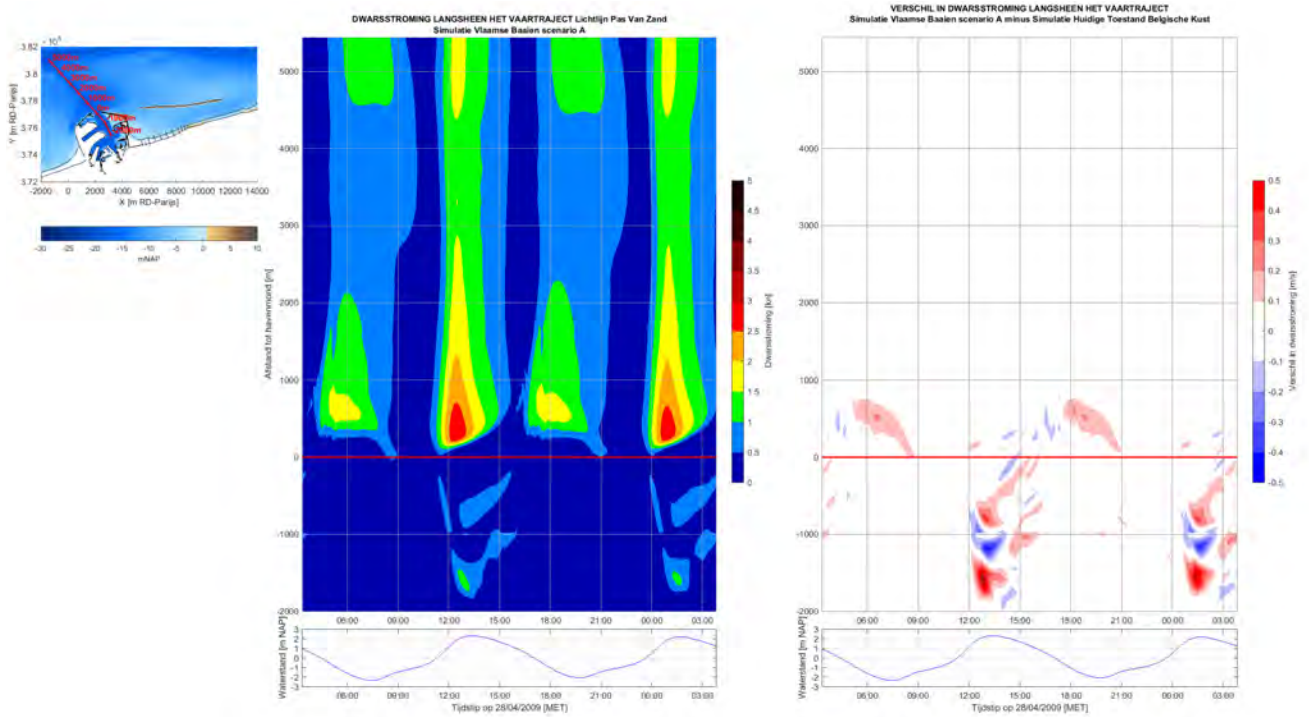
Figuur 63: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, 1970



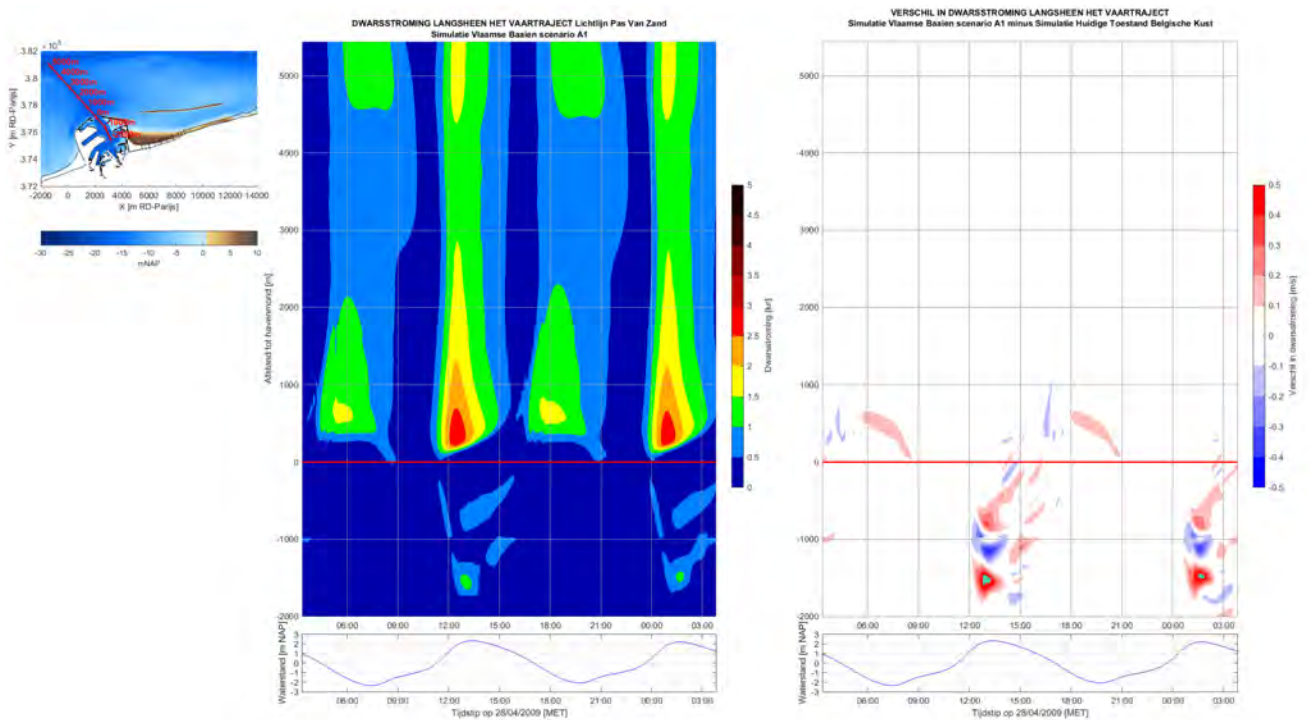
Figuur 64: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario Kustboog (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



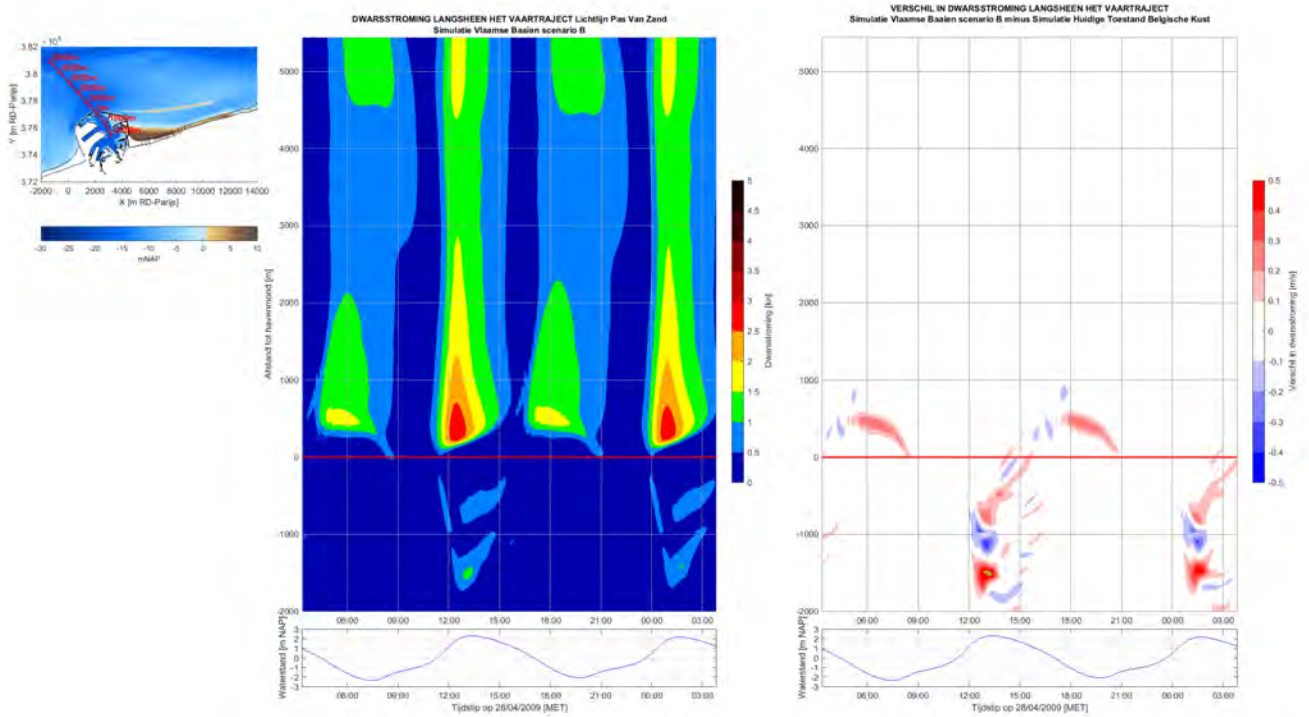
Figuur 65: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario 0 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



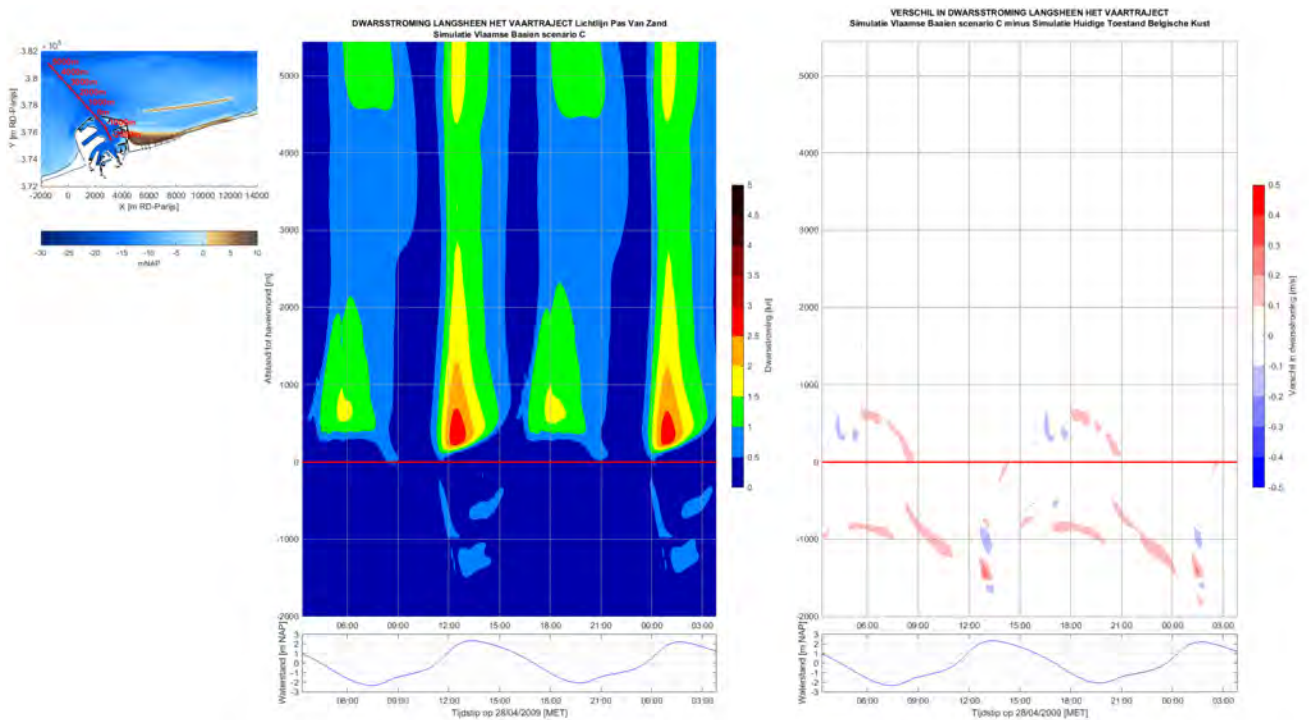
Figuur 66: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario A (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



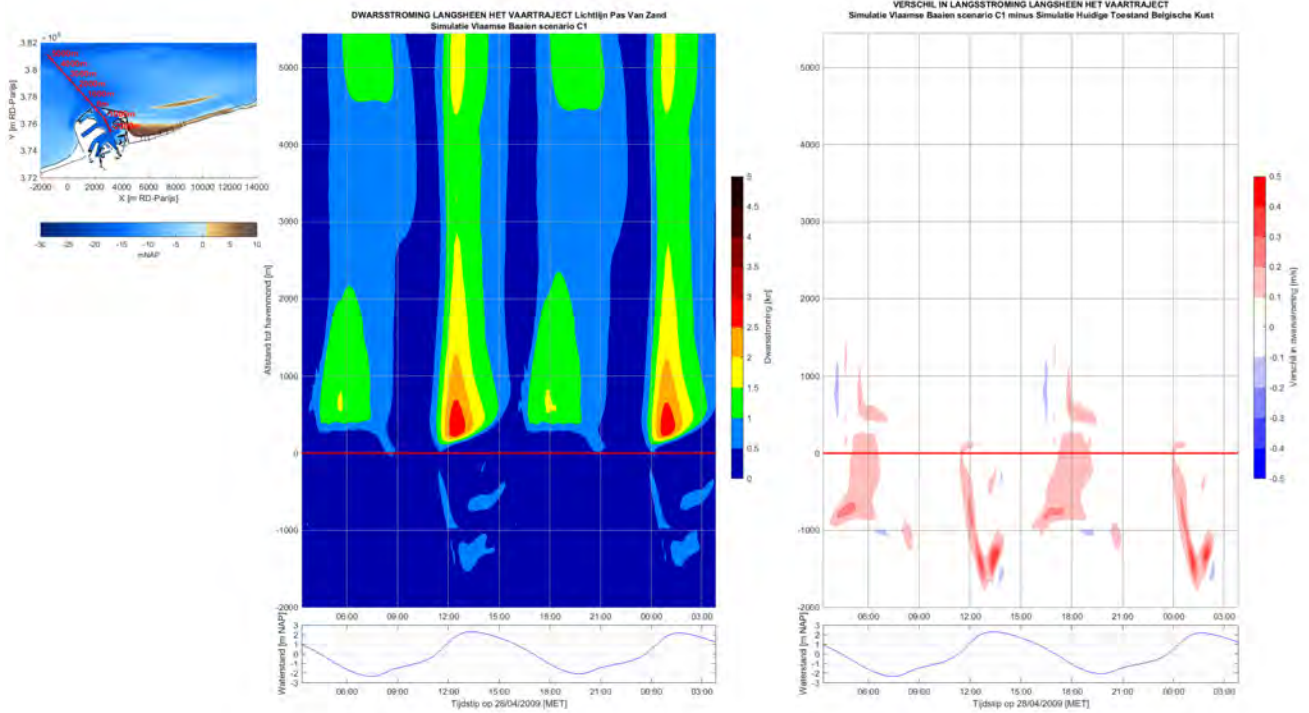
Figuur 67: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario A1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



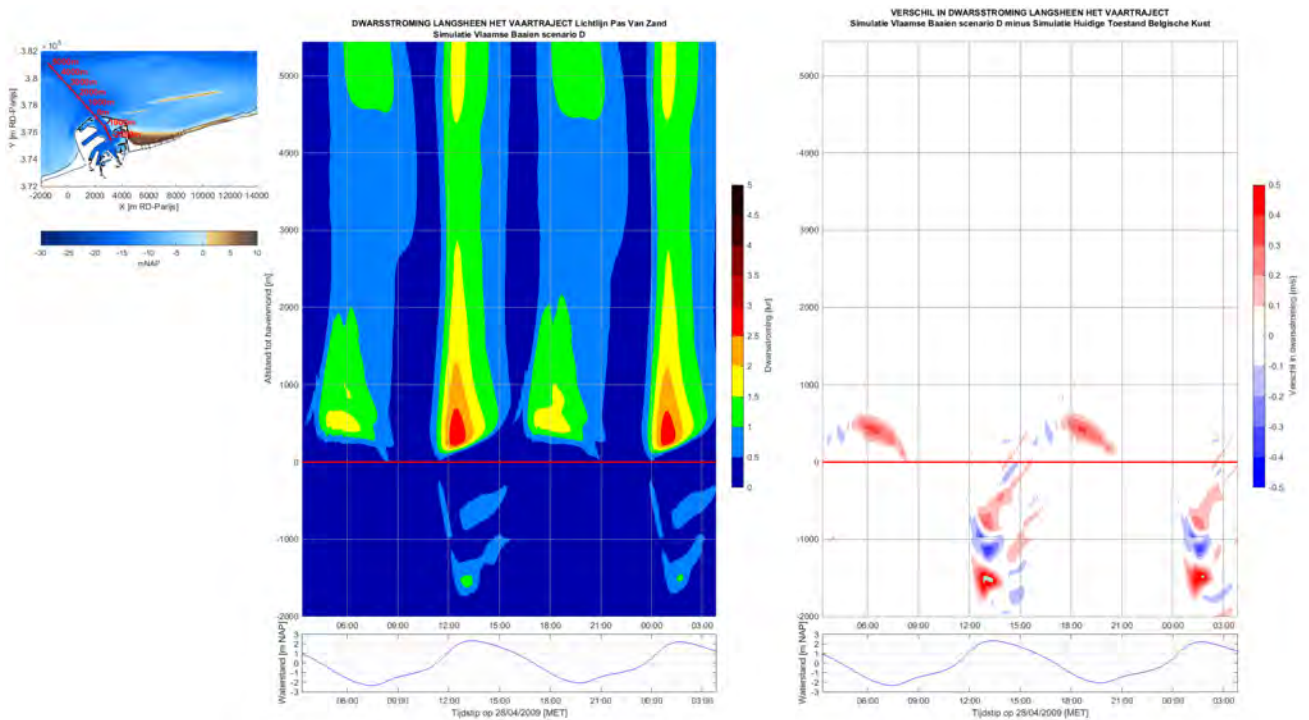
Figuur 68: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario B (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



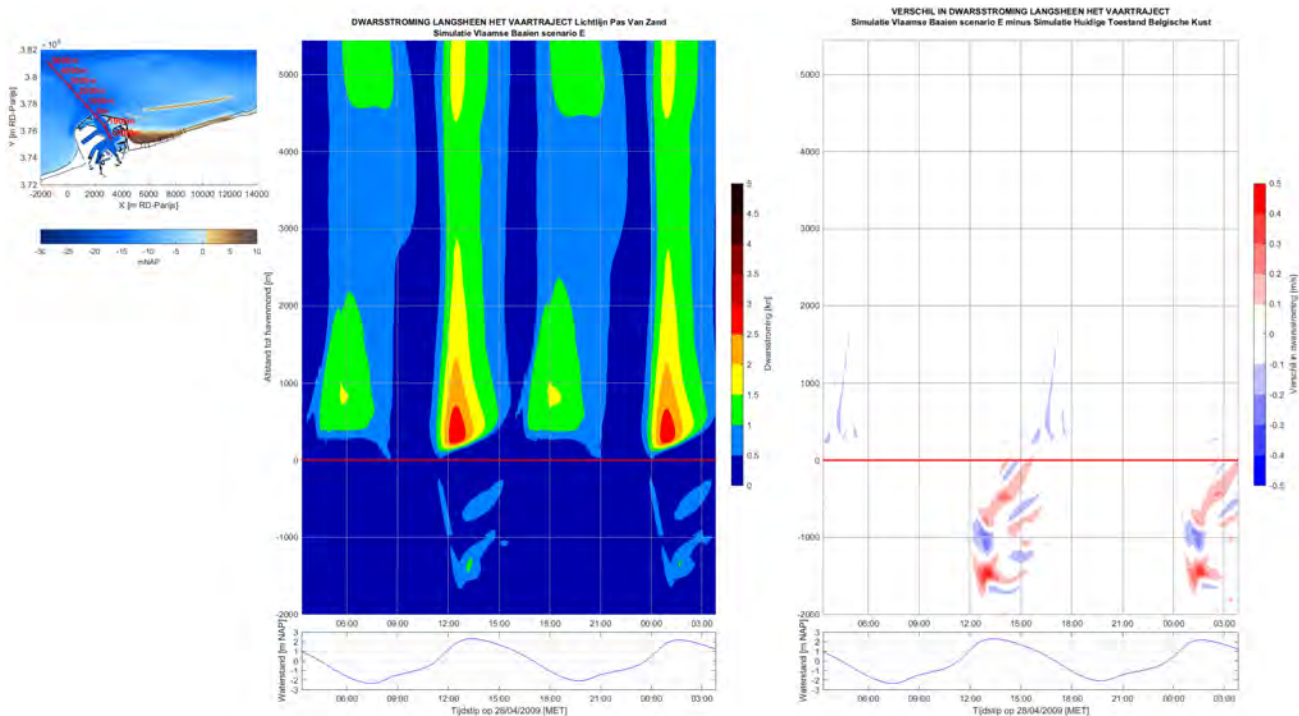
Figuur 69: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario C (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



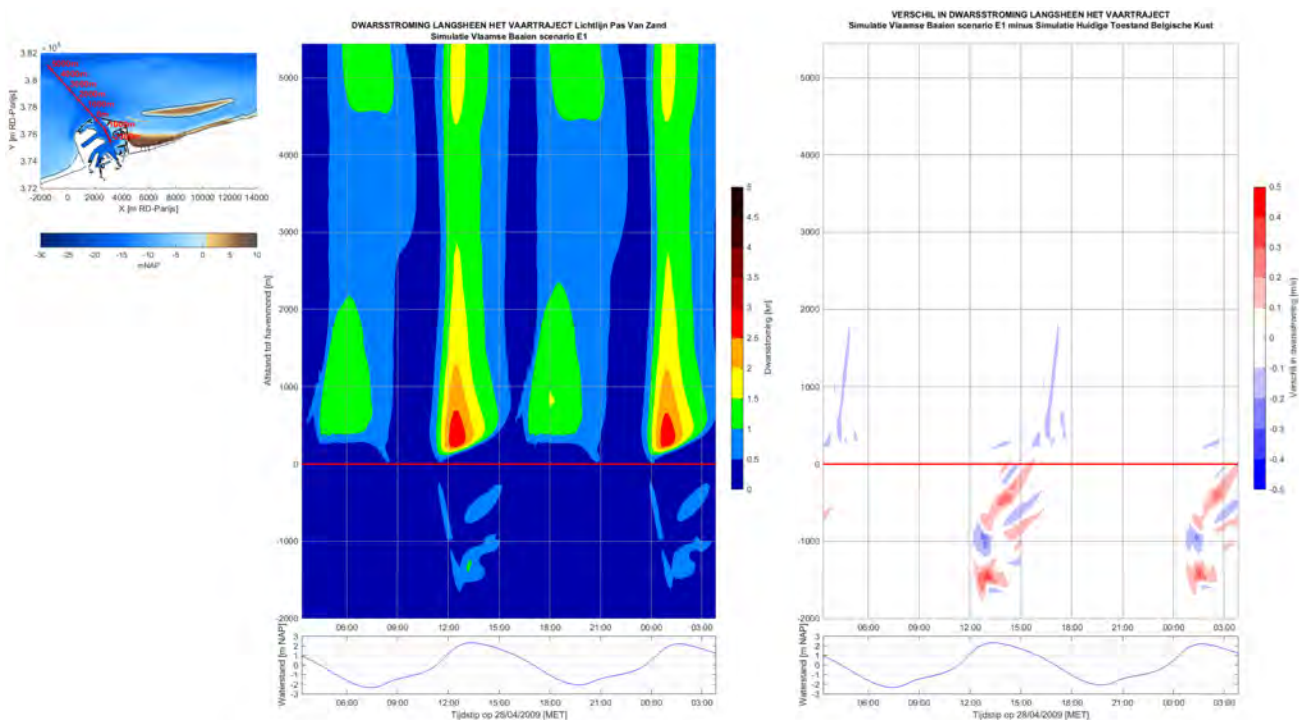
Figuur 70: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario C1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



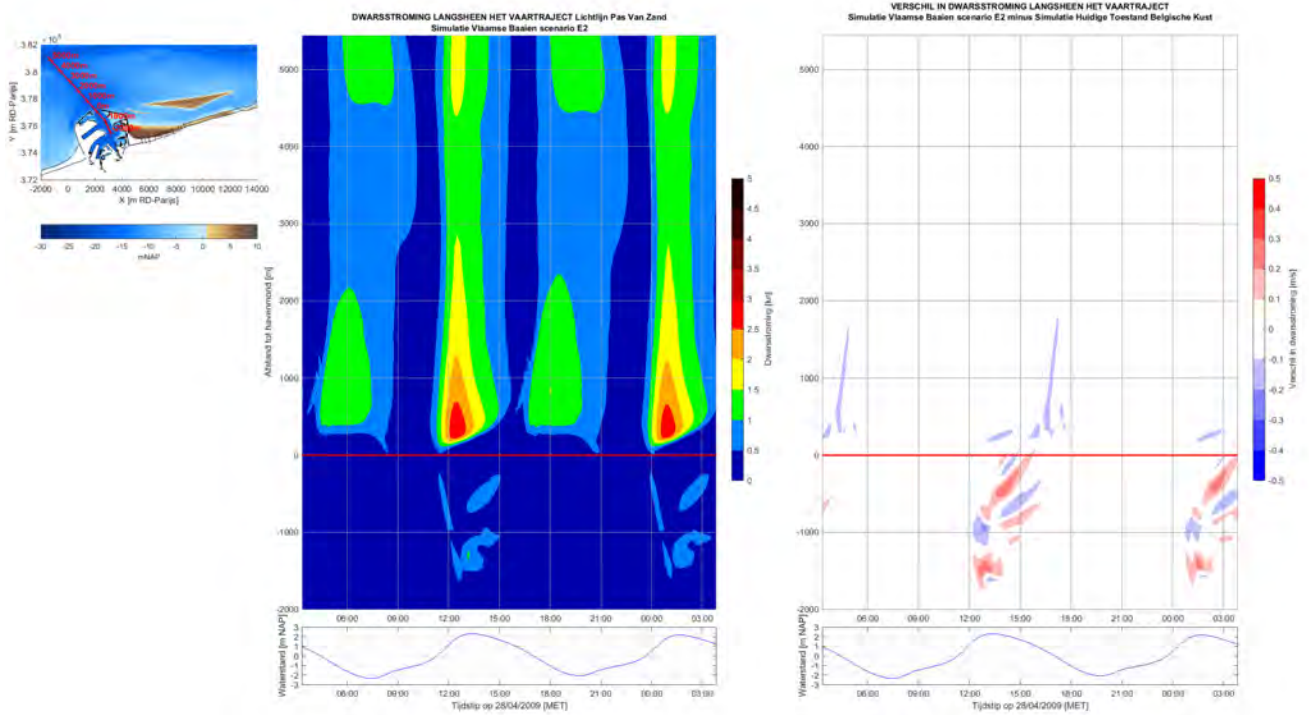
Figuur 71: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario D (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



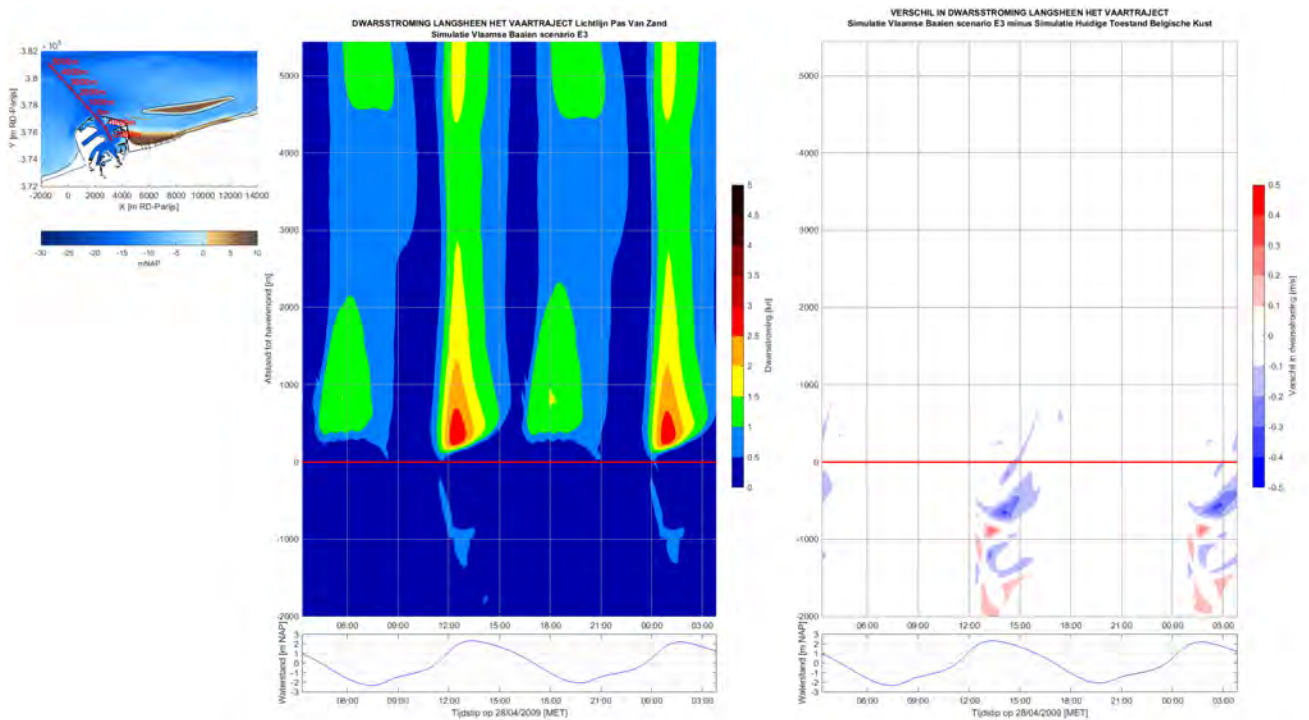
Figuur 72: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



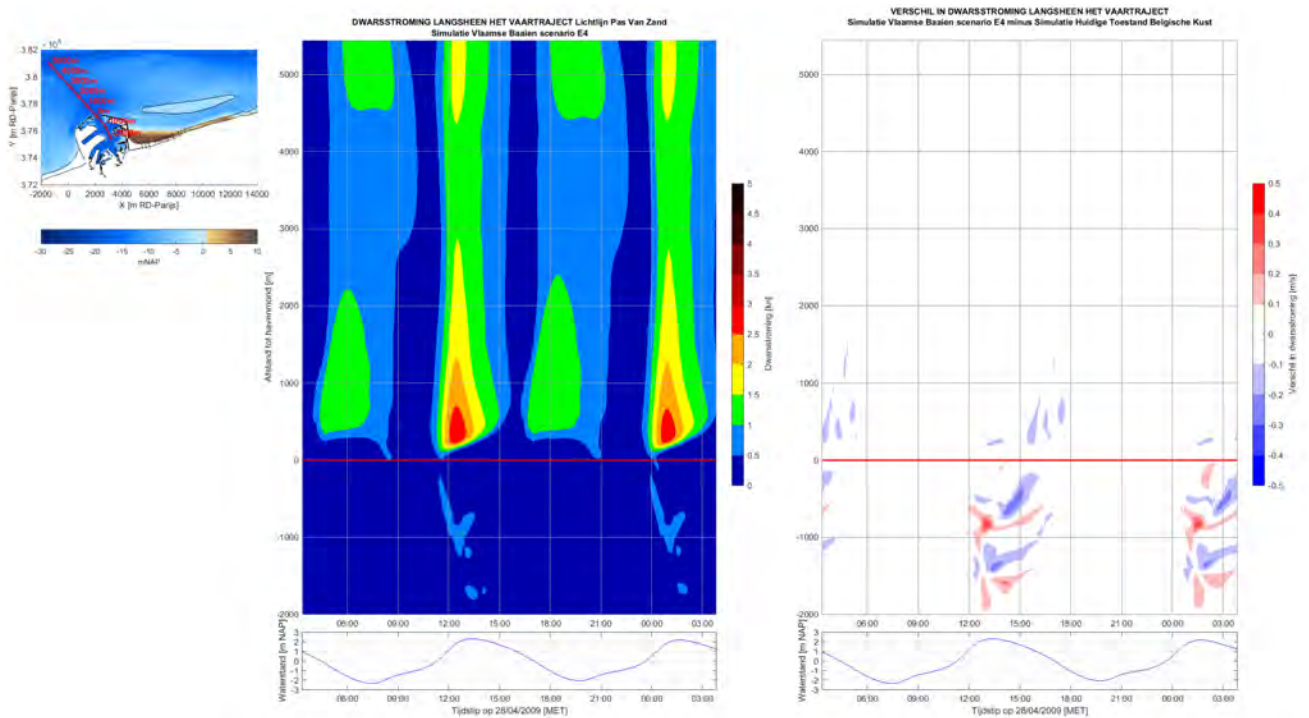
Figuur 73: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



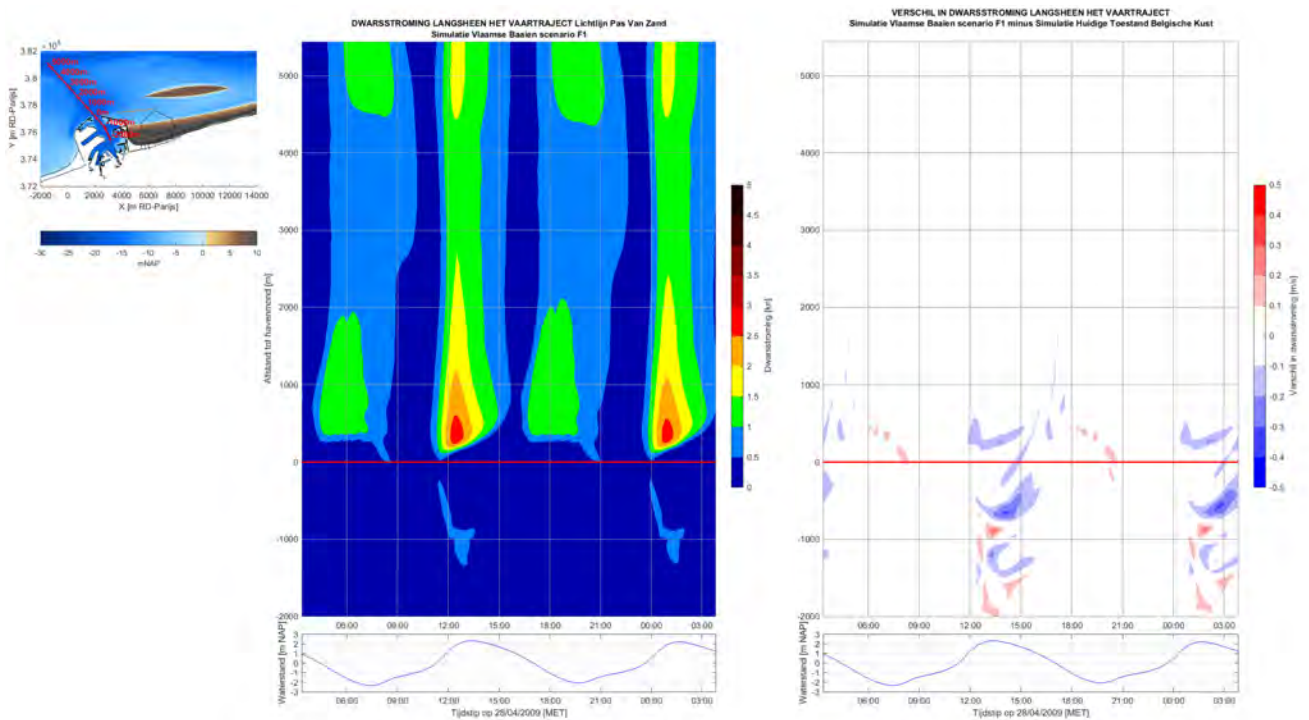
Figuur 74: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E2 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



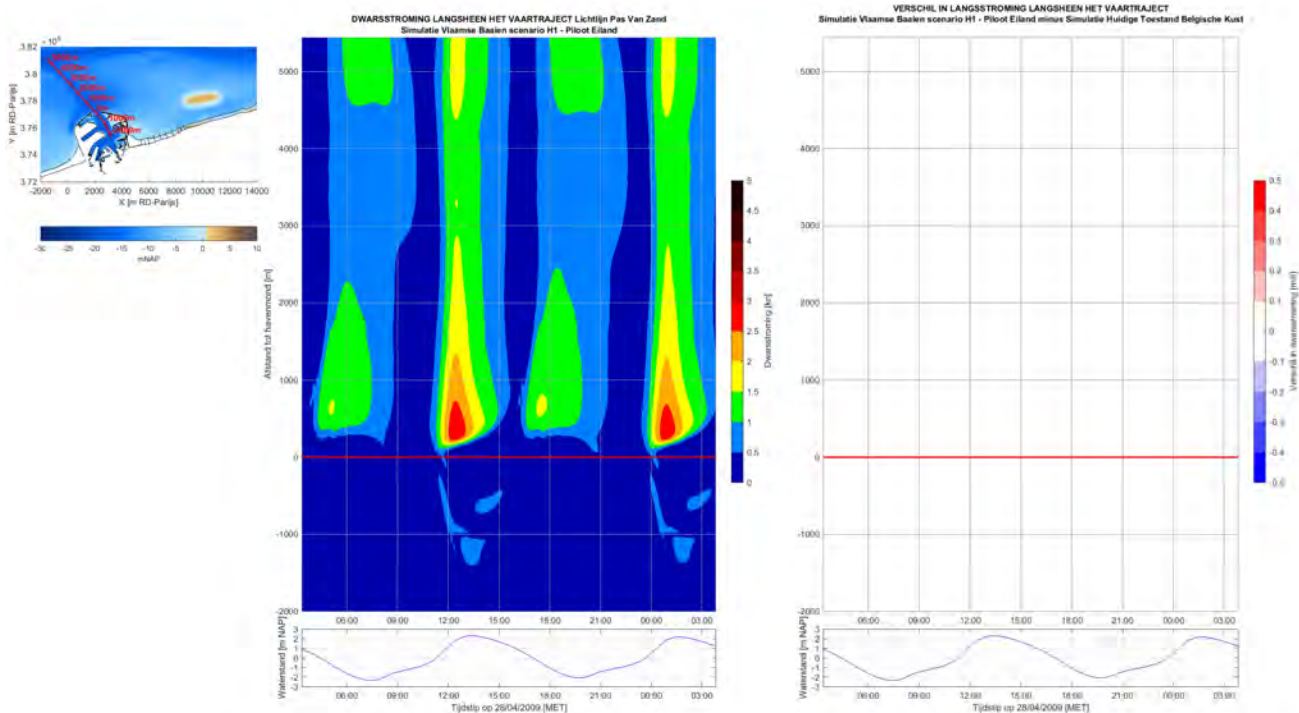
Figuur 75: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E3 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



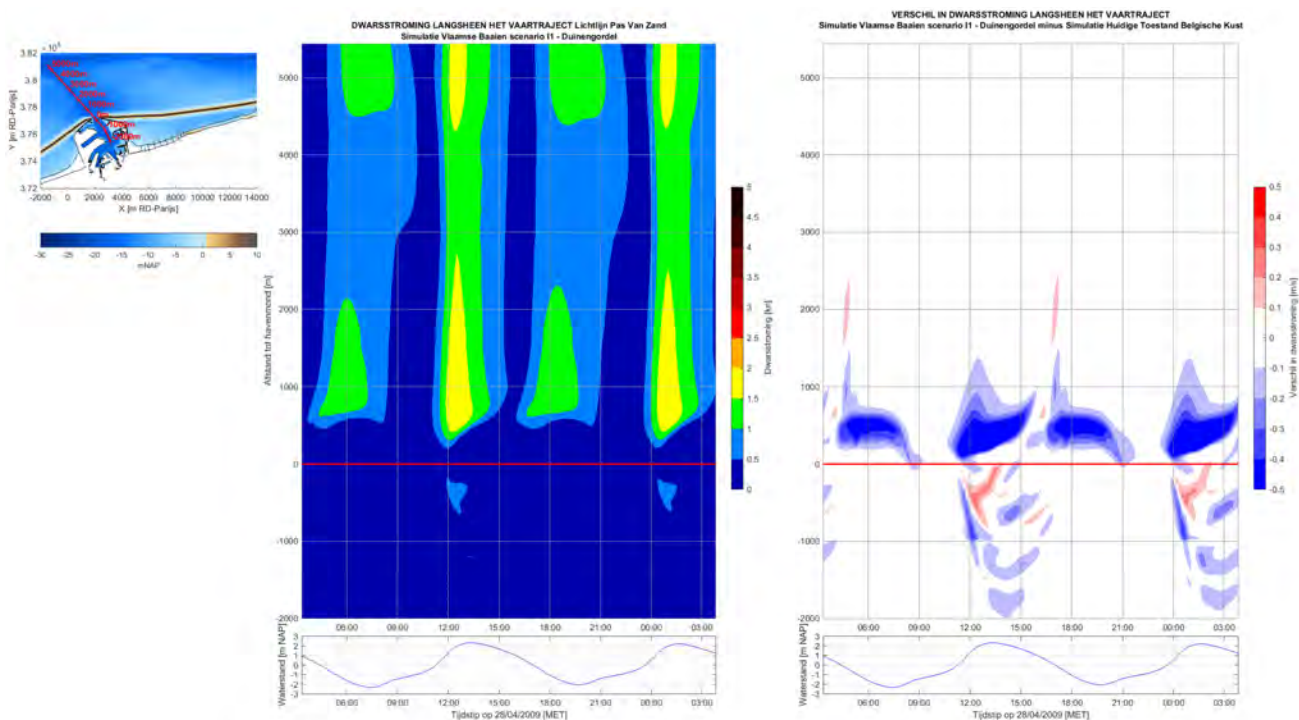
Figuur 76: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario E4 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



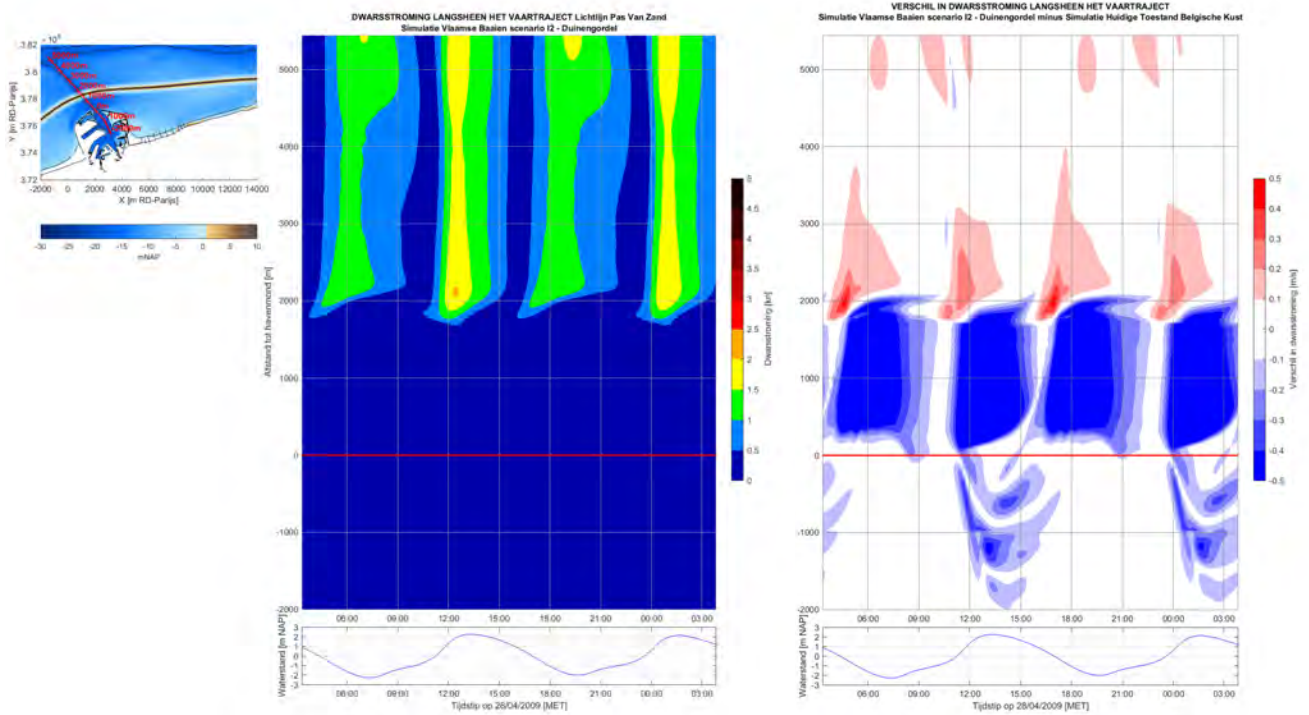
Figuur 77: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario F1 (links) en verschil met huidige situatie (rechts).



Figuur 78: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario H1 - Pilot Eiland (links) en verschil met huidige situatie (rechts).

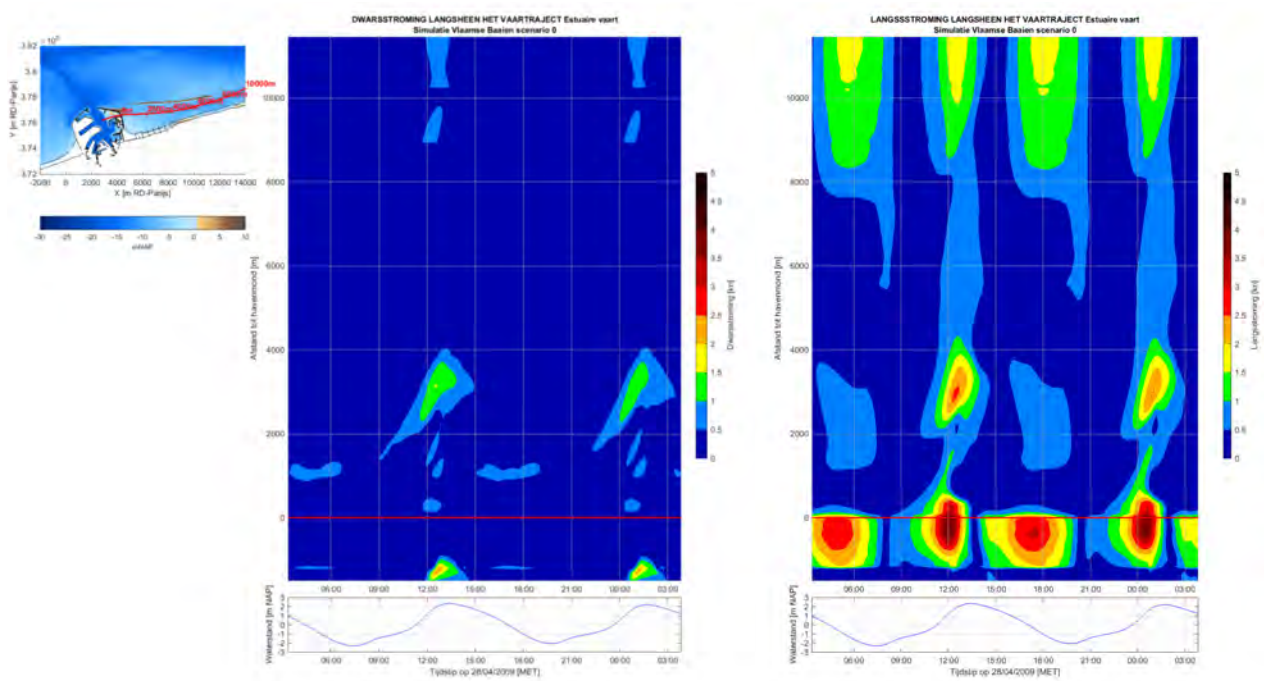


Figuur 79: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (links) en verschil met huidige situatie (rechts).

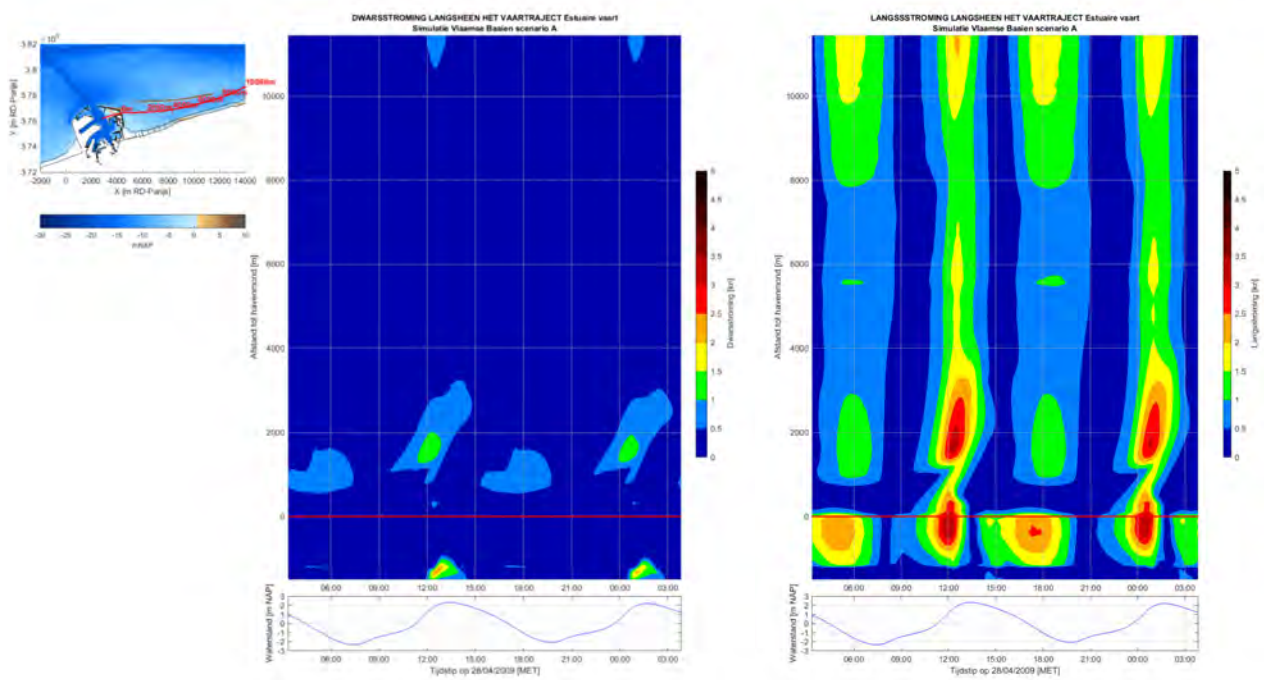


Figuur 80: Dieptegemiddelde dwarsstroming (kn) tijdens springtij langsheen traject Pas van het Zand, Vlaamse Baaien scenario I1 - Duinengordel (links) en verschil met huidige situatie (rechts). (Scenario I2 voorziet exter geen permanente doorgang ter hoogte van Zeebrugge)

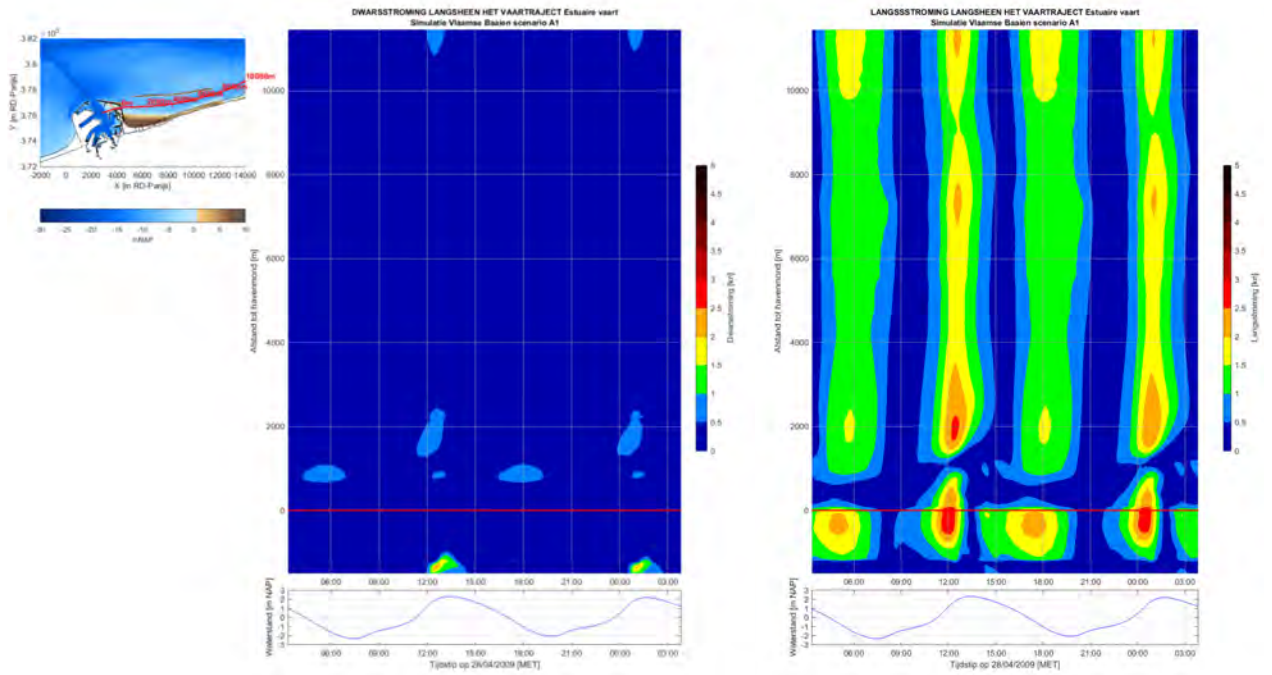
BIJLAGE D: LANGS EN DWARSSTROMING LANGSHEEN HET TRAJECT VOOR ESTUAIRE VAART



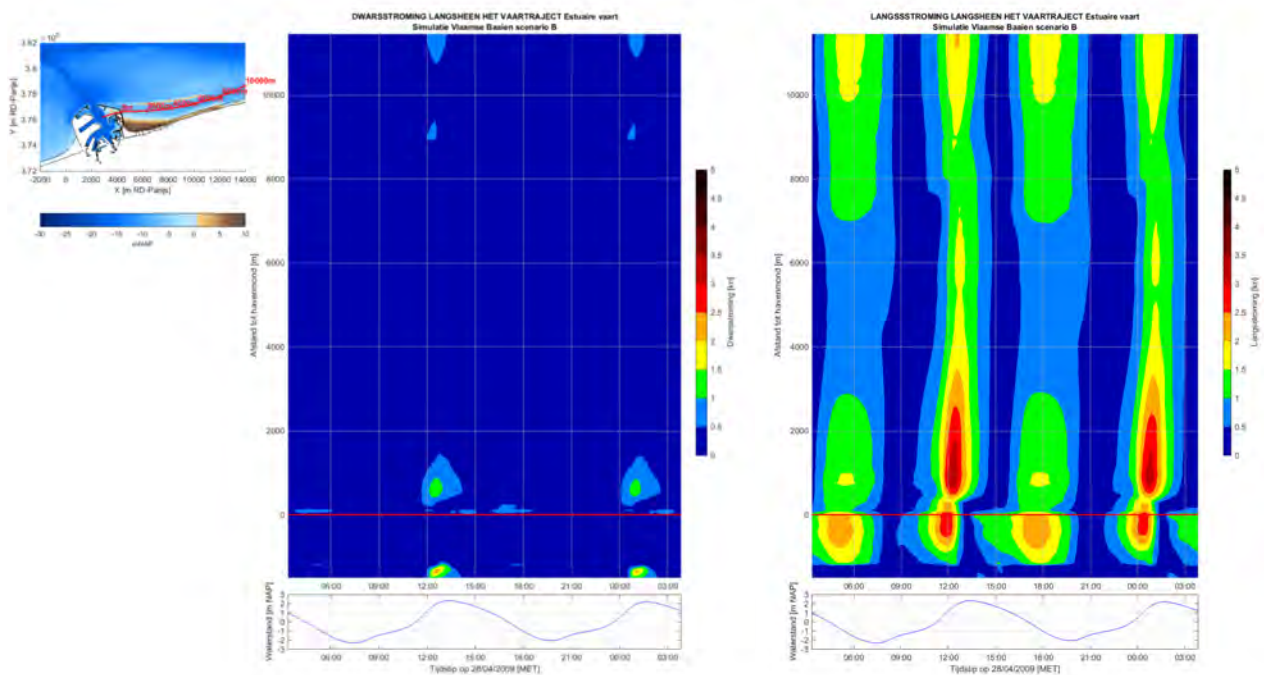
Figuur 81: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario 0



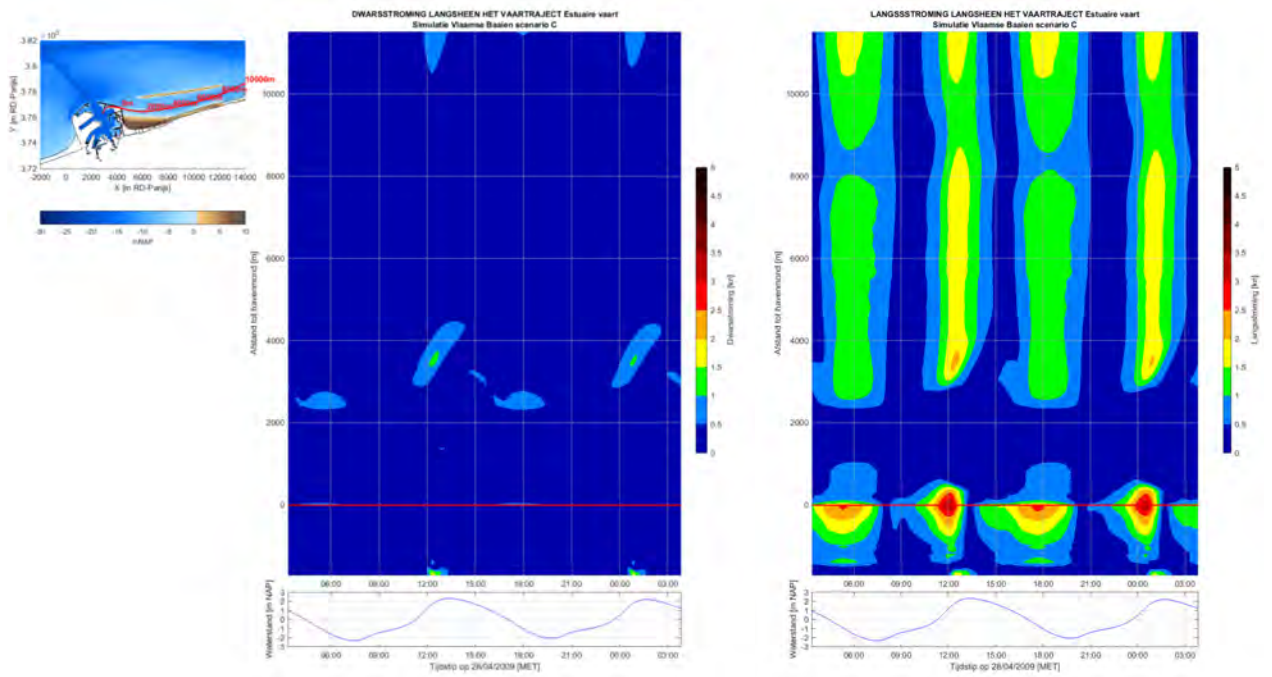
Figuur 82: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario A



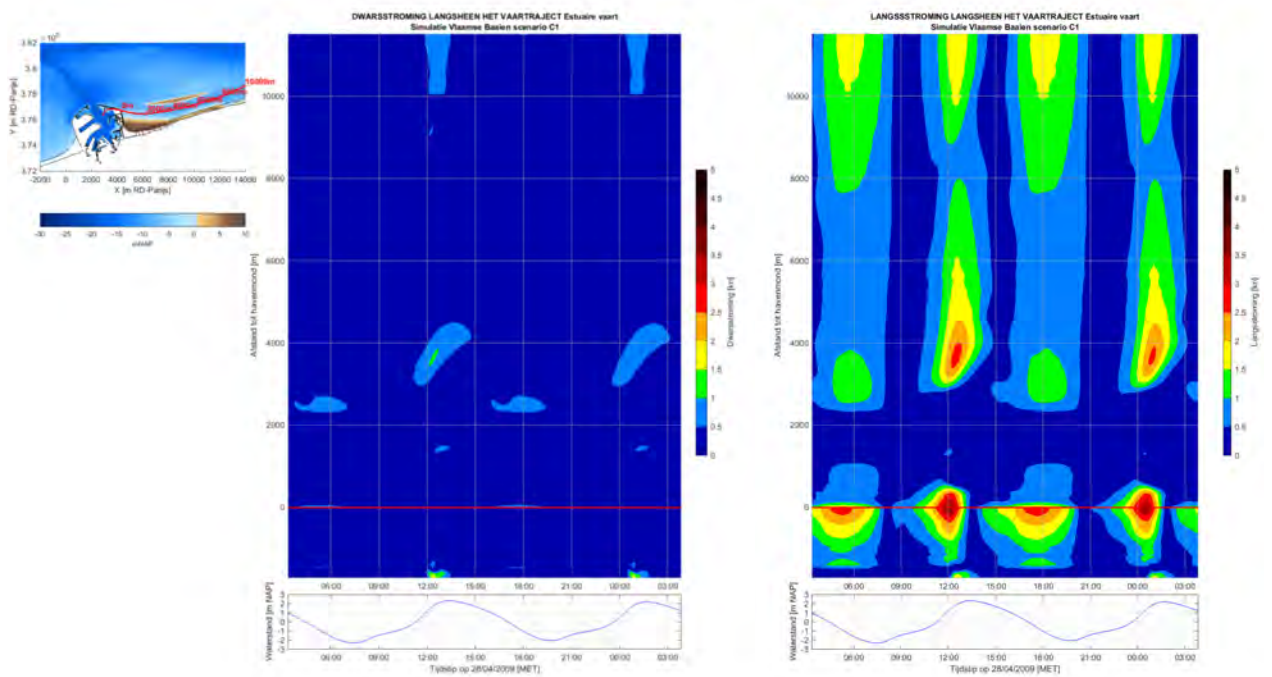
Figuur 83: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario A1



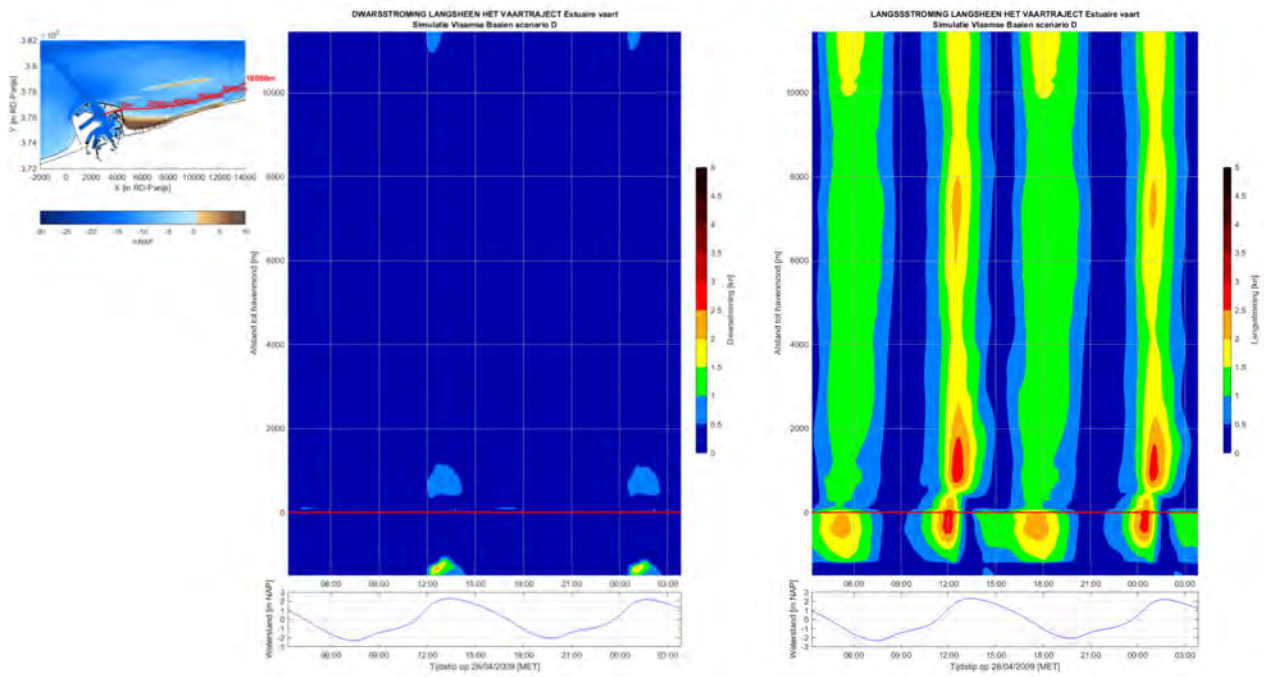
Figuur 84: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario B



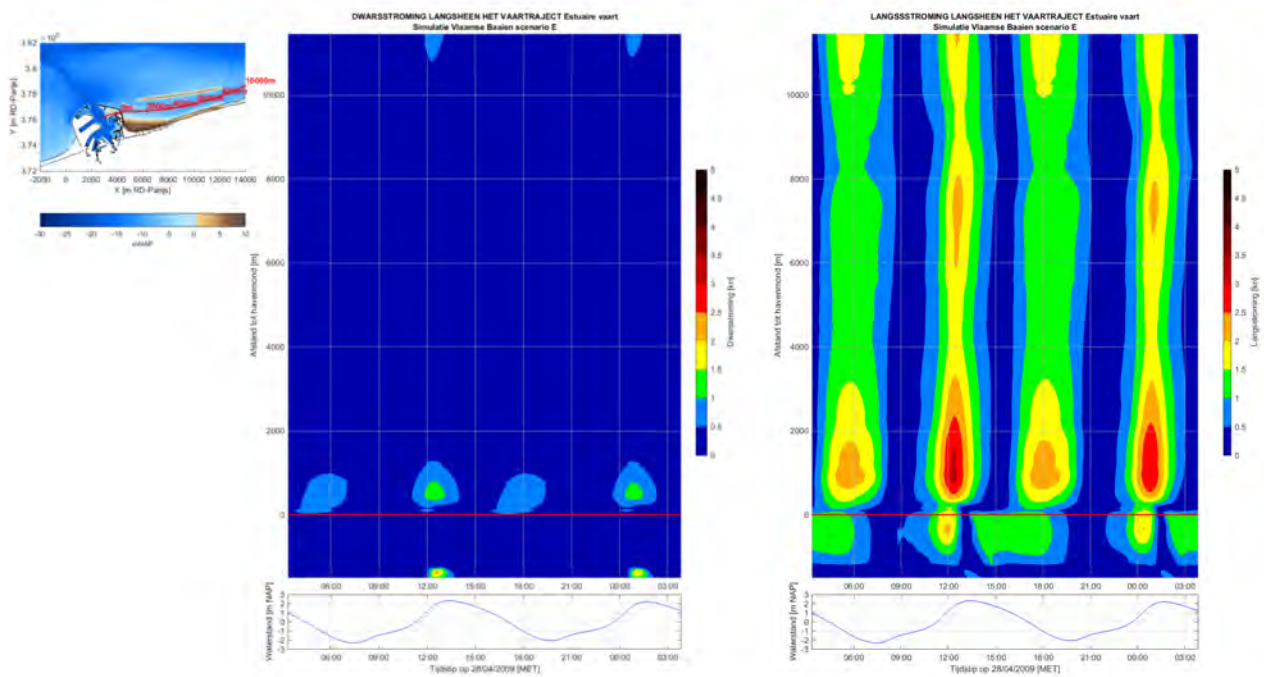
Figuur 85: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario C



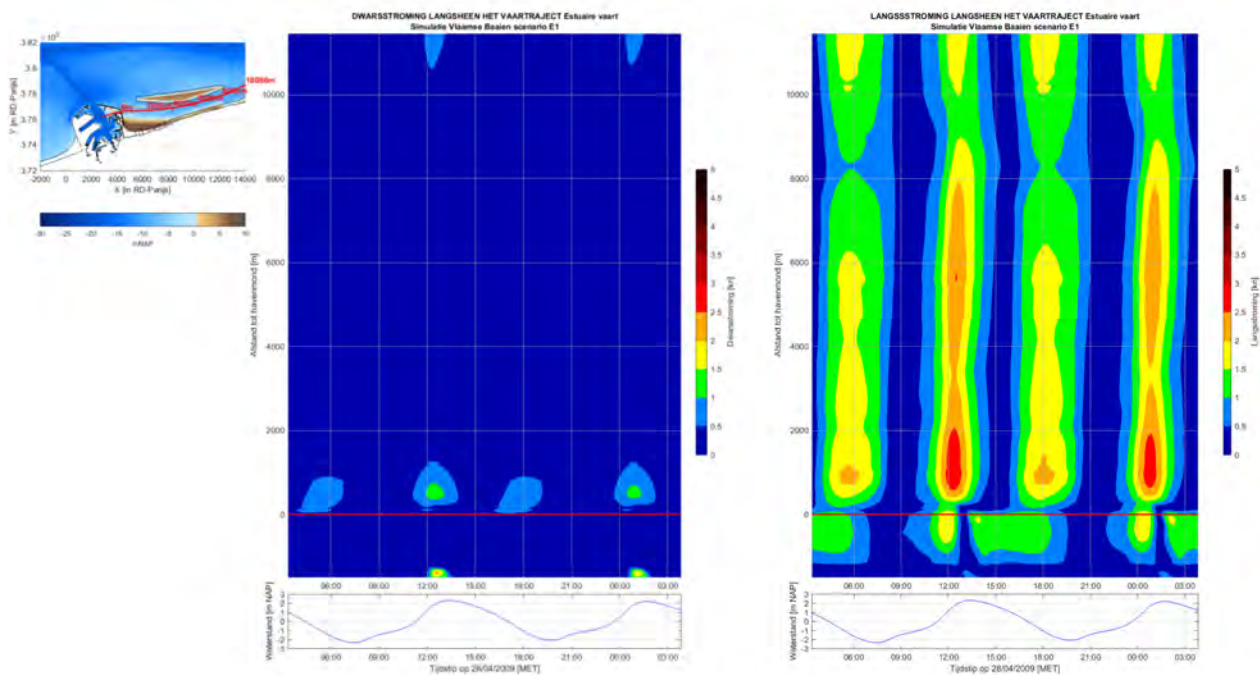
Figuur 86: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario C1



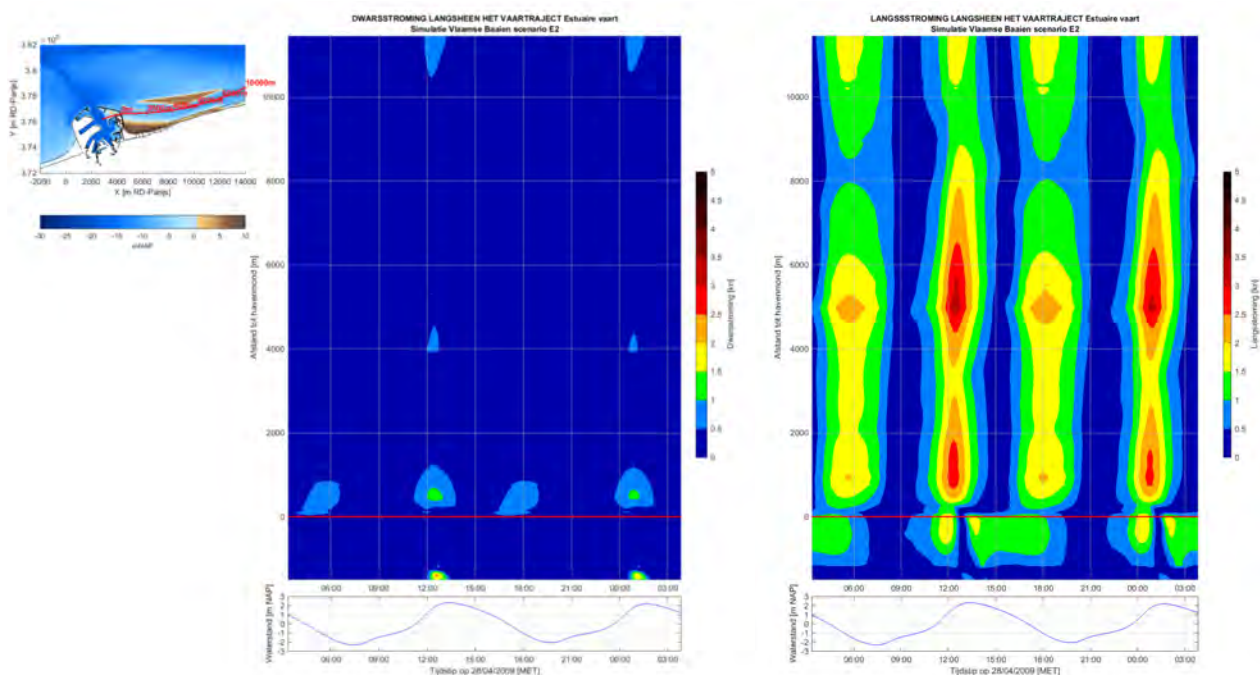
Figuur 87: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario D



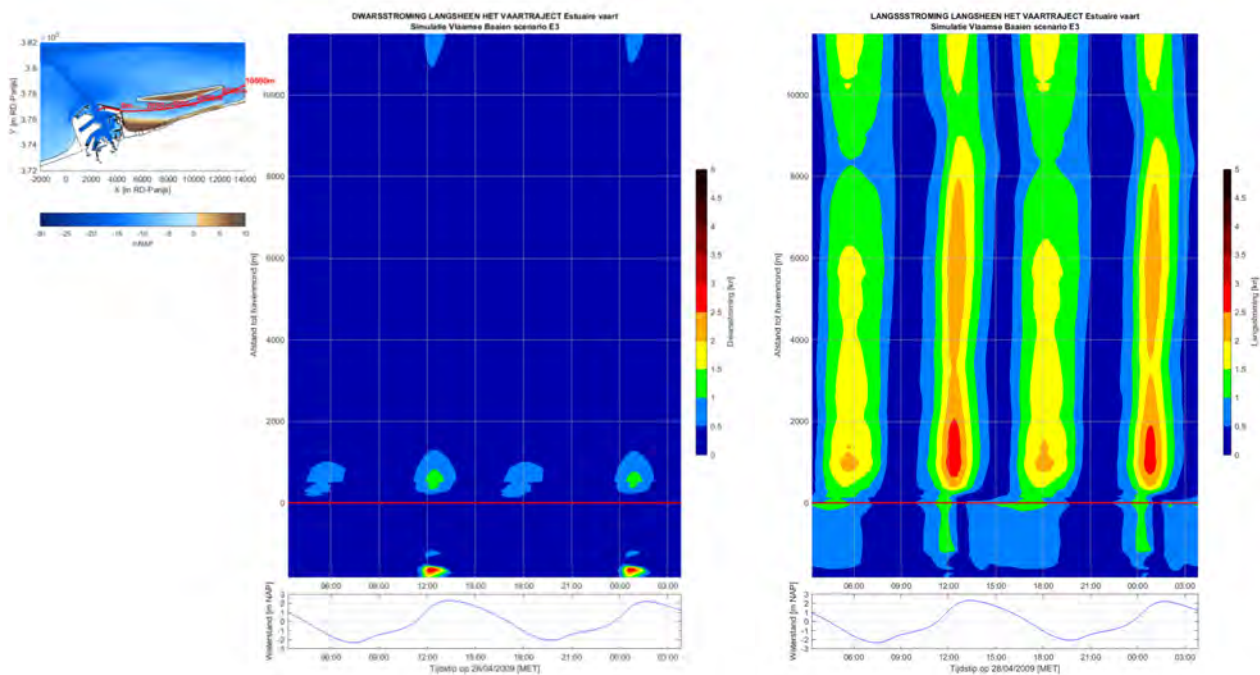
Figuur 88: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E



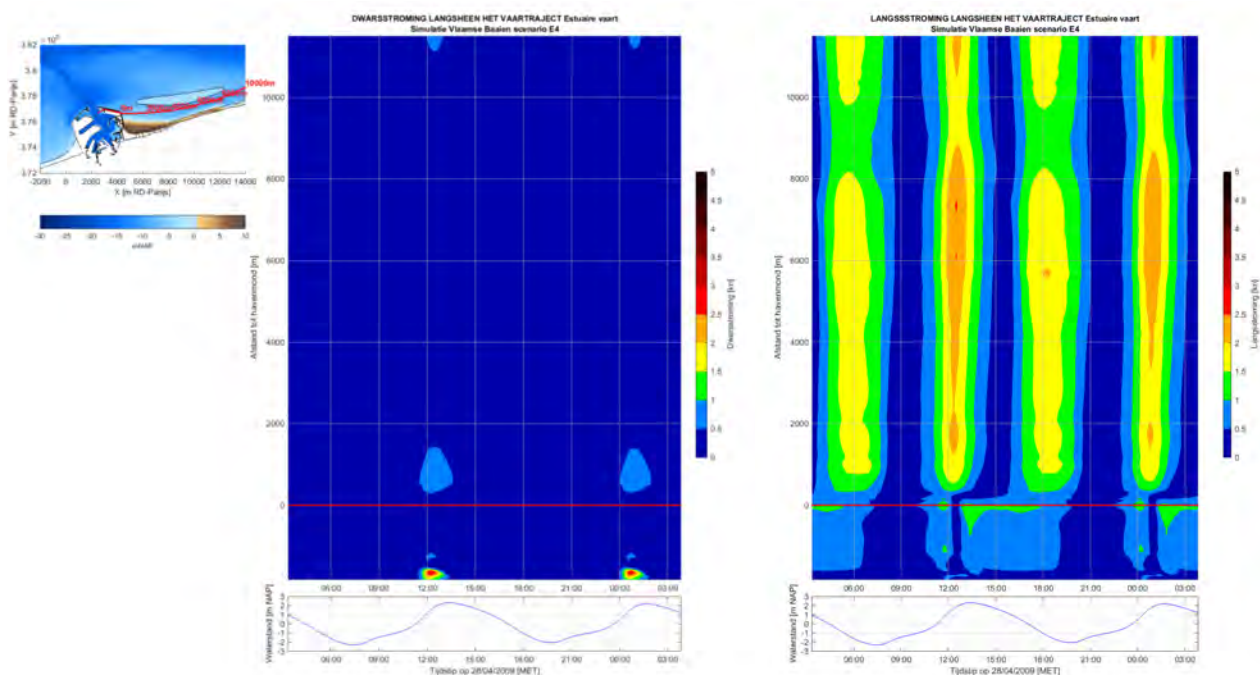
Figuur 89: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E1



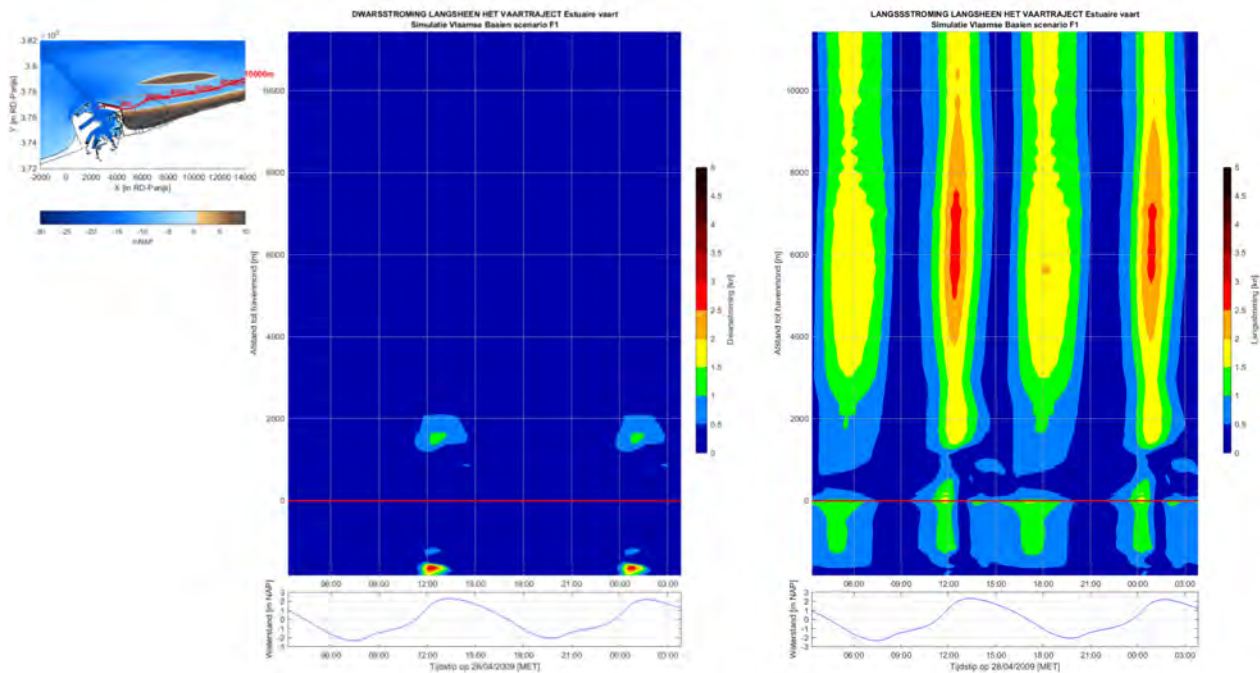
Figuur 90: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E2



Figuur 91: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E3



Figuur 92: Dieptegemiddelde dwars- en langsstroming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario E4



Figuur 93: Dieptegemiddelde dwars- en langsstrooming (kn) tijdens springtij langsheen vaarroute voor estuaire vaart Vlaamse Baaien scenario F1

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