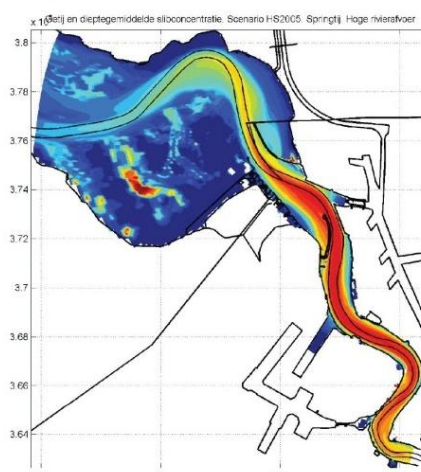


Instandhouding Vaarpassen



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid Mitigatie dwarsstroming Zuidergat

Basisrapport specifieke beheervragen B-25

01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

☎: + 32 3 270 92 95

📠: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

☎: + 31 (0)88 335 8273

📠: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

☎: +31 10 467 13 61

📠: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Arnhem, Nederland

☎: +31 (0)26 377 89 11

📠: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Mitigatie dwarsstroming Zuidergat
Project	Instandhouding Vaarpassen
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/13.070/GLI/GLI
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\werkdokument\B-25 - Mitigatie dwarsstroming Zuidergat_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	2/05/13	Concept eindrapport	G. Lipari	B. Decrop	G. van Holland
2.0	01/10/13	Finaal	G. Lipari	B. Decrop/ G. van Holland	M.Sas

Verdeellijst

☐	Analoog
☒	Digitaal

Abstract

Langs de Platen van Ossenissee Oost treden hinderlijke dwarsstromingen op ten gevolge van neervorming tijdens springvloed. In de voorliggende studie wordt onderzocht hoe deze neervorming kan worden gemitigeerd door het slim plaatsen van een suppletie.

Uit de resultaten van de studie volgt dat rond de hoogwaterkentering de wisselwerkende stromingen op de verzonken plaat een tweetal bewegende neren veroorzaakten die beide de vaargeul beïnvloedden. Uit de onderzochte scenario's blijkt dat een bodemverhoging tot -6 m NAP van de verzonken plaat langs de plaatrand (geschat gebied 90 ha, sedimentvolume 1.75 M m³) het meest effectief is om de dwarssnelheden langs de groene boeienlijn in het Zuidergat aanzienlijk te reduceren tot twee derde van de waarde bij een ongewijzigde bathymetrie (tot ongeveer 0,9 m/s).

Inhoudstafel

1. INLEIDING	1
1.1 KADER	1
1.2 BEHEER- EN ONDERZOEKVRAGEN	1
1.3 STRUCTUUR VAN DIT RAPPORT	2
1.4 CONVENTIES.....	2
2. ACHTERGROND VAN DE STUDIE	3
2.1 HET GEBIED.....	3
2.2 RECENTE EVOLUTIE VAN DE BODEM	4
2.3 VORIGE STUDIES.....	7
2.3.1 <i>De simulaties</i>	7
2.3.2 <i>Vorming en beweging van de neren</i>	8
2.3.3 <i>Veiligheid navigatie</i>	8
2.4 DETECTEREN VAN NEREN.....	9
3. MODELOPZET.....	11
3.1 AANNAMES EN VERONDERSTELLINGEN	11
3.2 DE SOFTWARE	11
3.3 GESIMULEERDE NEERPERIODEN	12
3.4 RANDVOORWAARDEN.....	12
3.5 BATHYMETRIE.....	12
3.6 INSTELLING MODELPARAMETERS.....	13
4. VALIDATIE MODEL.....	15
4.1 ZEERANDVOORWAARDEN	15
4.2 VERGELIJKING MET DE MOBIELE ADCP METINGEN.....	16
4.3 EVALUATIE RESULTATEN VALIDATIE.....	18
5. SCENARIO'S	19
5.1 REFERENTIESITUATIE.....	19
5.2 VERKENNENDE BEREKENINGEN	19
5.2.1 <i>Beschrijving en kenmerken van de scenario's</i>	19
5.2.2 <i>Resultaten</i>	22
5.3 OPTIMALISATIE BEREKENINGEN	23
5.3.1 <i>Beschrijving en kenmerken van de scenario's</i>	23
5.3.2 <i>Resultaten</i>	25
5.4 NEERVORMING IN DETAIL.....	26
5.5 EVALUATIE RESULTATEN	28
5.6 BESCHIKBAARHEID SEDIMENTEN	29
6. ALGEMENE CONCLUSIES	31

7. REFERENTIES	33
7.1 INTERNETBRONNEN.....	33
7.2 RAPPORTEN	33

Bijlagen

BIJLAGE A ZUIDERGAT	NEER 7 APRIL 2008: MOBILE ADCP METINGEN IN HET	37
BIJLAGE B	EERSTE ANALYSE: BODEMS.....	41
BIJLAGE C SCENARIO'S	VERKENNENDE BEREKENINGEN: STROMINGSVELDEN ALLE	47
BIJLAGE D	AANVULLENDE TESTEN: BODEMS.....	57
BIJLAGE E SCENARIO'S	AANVULLENDE TESTEN: STROMINGSVELDEN UITGESLOTEN	65
BIJLAGE F SCENARIO'S	AANVULLENDE TESTEN: STROMINGSVELDEN KANSRIJKE	75
BIJLAGE G	STROMINGSVELDEN NEERVORMING: BESTAANDE SITUATIE ..	85
BIJLAGE H SCENARIO (BAND 2)	STROMINGSVELDEN NEERVORMING: HET MEEST EFFECTIEVE	93

Lijst van tabellen

TABEL 3-1 VERSCHILLEN TUSSEN NEVLA2006 EN DE VOOR NEERSIMULATIES GEBRUIKTE MODELLEN.....	11
TABEL 5-1 BELANGRIJKE TIJDSTIPPEN IN DE GESIMULEERDE NEER VAN 2011.....	19
TABEL 5-2 OPPERVLAKTES VAN SECTOREN EN BANDEN	20
TABEL 5-3 EERSTE ANALYSE. BESCHRIJVING SCENARIO'S.....	21
TABEL 5-4 EERSTE ANALYSE. KENMERKEN SCENARIO'S.....	22
TABEL 5-5 VERKENNENDE BEREKENINGEN - DWARSSNELHEDEN OP DE GROENE BOEIENLIJN, GERANGSCHIKT VOLGENS AFNEMENDE DWARSSNELHEID.....	23
TABEL 5-6 AANVULLENDE TESTEN. BESCHRIJVING SCENARIO'S.....	24
TABEL 5-7 AANVULLENDE TESTEN. KENMERKEN SCENARIO'S	25
TABEL 5-8 AANVULLENDE TESTEN. WAARDE VAN DE GROOTSE DWARSSNELHEDEN OP DE GROENE BOEIENLIJN. RANGSCHIKKING VOLGENS AFNEMENDE DWARSSNELHEID	26
TABEL 5-9 EFFECTIEVE SCENARIO'S. MAXIMALE DWARSSNELHEDEN VAN DE OPWAARTSE EN AFWAARTSE NEER (MET TIJDSTIP). POSITIEF RICHTING DE PLAATRANDE, NEGATIEF RICHTING DE VAARGEUL.	28
TABEL 5-10 VOLUME SEDIMENTEN VAN DE ONDERHOUD IN BIJLIGGENDE LOCATIES (MILJOENEN M ³).....	29

Lijst van figuren

FIGUUR 2-1: GEOGRAFISCHE KENMERKEN VAN DE PLAAT VAN OSSENISSE EN HET ZUIDERGAT.....	4
FIGUUR 2-2: ONTWIKKELING VAN DE BODEMHOOGTE IN DE PERIODE 1965-2005 LANGS EEN RAAI MET Y-COÖRDINAAT 381,5 KM. BRON: DECROP ET AL. 2009.	5
FIGUUR 2-3: BATHYMETRIEËN IN 2007 (VORIGE STUDIES) EN 2011 (HUIDIGE STUDIE)	6
FIGUUR 2-4: DIEPTEVERSCHIL TUSSEN 2007 (VORIGE STUDIES) EN 2011 (HUIDIGE STUDIE). ZWARTE CONTOUREN UIT 2011.	6
FIGUUR 2-5: BAGGERINTENSITEIT OP DE DREMPEL VAN HANSWEERT TUSSEN 2007 (VORIGE STUDIES) EN 2011 (HUIDIGE STUDIES).....	7
FIGUUR 4-1: GEMETEN WATERSTANDEN BIJ WESTKAPELLE EN CADZAND IN DE PERIODE VAN 6 TOT 8 APRIL 2008. HET VERSCHIL DAARVAN IS WEERGEGEVEN OP DE SECUNDAIRE AS.	15
FIGUUR 4-2: VERGELIJKING VAN GEMETEN EN GESIMULEERDE WATERSTANDEN BIJ HANSWEERT EN WALSOORDEN OP 7 APRIL 2008.	16
FIGUUR 4-3: GEMETEN (KRUISSEN) EN BEREKENDE (LIJN) DWARSSNELHEDEN LANGS HET TRAJECT VAN HET MEETSCHIP VOOR DE NEER VAN 7 APRIL 2008.	17
FIGUUR 5-1: VERDELING VAN DE VERZONKEN PLAAT IN SECTOREN (LINKS) EN BANDEN (RECHTS).....	20

Lijst van figuren in bijlagen

FIGUUR BIJLAGE A-1: DIEPTEGEMIDDELDE STROOMVECTOREN VOOR DE TRAJECTEN VAN 15U31 (VERSTERKING VAN DE NEER) TOT 16U10 (VERST OPWAARTSE POSITIE). DE BLAUWE STIPPEN DUIDEN HET GESIMULEERD NEERTRAJECT AAN.	39
FIGUUR BIJLAGE A-2: DIEPTEGEMIDDELDE STROOMVECTOREN VOOR DE TRAJECTEN VAN 16U30 (VERST OPWAARTSE POSITIE) TOT 16U10 (EINDE METINGEN). DE BLAUWE STIPPEN DUIDEN HET GESIMULEERD NEERTRAJECT AAN.	40
FIGUUR BIJLAGE B-1: NAUTISCHE KAART HANSWEERT (2007)	43
FIGUUR BIJLAGE B-2 SCENARIO SECTOREN 1, 2, 3.....	44
FIGUUR BIJLAGE B-3: SCENARIO SECTOR 1.	44
FIGUUR BIJLAGE B-4 SCENARIO SECTOR 2.	45
FIGUUR BIJLAGE B-5: SCENARIO SECTOR 3.	45
FIGUUR BIJLAGE B-6 SCENARIO BAND 1.	46
FIGUUR BIJLAGE B-7: SCENARIO BAND 2.	46
FIGUUR BIJLAGE C-1: REFERENTIESIMULATIE: ONGEWIJZIGDE BATHYMETRIE. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: 1.39 M/S.	49
FIGUUR BIJLAGE C-2: SCENARIO VERHOOGING SECTOR 3 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.53 M/S.	50
FIGUUR BIJLAGE C-3: SCENARIO VERHOOGING BAND 1 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.39 M/S.	51
FIGUUR BIJLAGE C-4: SCENARIO VERHOOGING SECTOR 2 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.21 M/S.	52
FIGUUR BIJLAGE C-5: SCENARIO VERHOOGING SECTOR 1 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.20 M/S.	53

FIGUUR BIJLAGE C-6: SCENARIO VERHOOGING ALLE SECTOREN TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.19 M/S.....	54
FIGUUR BIJLAGE C-7: SCENARIO VERHOOGING BAND 2 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -0.92 M/S.	55
FIGUUR BIJLAGE D-1: SCENARIO SECTOR 1 HOOG.	59
FIGUUR BIJLAGE D-2: SCENARIO SECTOR 1 HOOG UITGEBREID.....	59
FIGUUR BIJLAGE D-3: SCENARIO SECTOREN 1,2.	60
FIGUUR BIJLAGE D-4: SCENARIO SECTOREN 2,3.	60
FIGUUR BIJLAGE D-5: SCENARIO OPVULLEN VAN DE UITSCHURING (SECTOREN 1, 2, 3 VERHOOGD TOT -8M).....	61
FIGUUR BIJLAGE D-6: SCENARIO PUNT PLATMAKEN (WEGBAGGEREN TOT -7M NAP).....	61
FIGUUR BIJLAGE D-7: SCENARIO BAND 2 NOORD.....	62
FIGUUR BIJLAGE D-8: SCENARIO BAND 2 ZUID.....	62
FIGUUR BIJLAGE D-9: SCENARIO BAND 2, VARIANT MET HELLENDE BODEM.	63
FIGUUR BIJLAGE D-10: SCENARIO BAND 2 HOOG BREED.....	63
FIGUUR BIJLAGE D-11: SCENARIO BAND 2 HOOG SMAL.....	64
FIGUUR BIJLAGE D-12: SCENARIO WEGBAGGEREN VAARGEULRAND.	64
FIGUUR BIJLAGE E-1: REFERENTIESIMULATIE: ONGEWIJZIGDE BATHYMETRIE. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: 1.39 M/S.....	67
FIGUUR BIJLAGE E-2: SCENARIO PLATMAKEN VAN HET PUNT VAN DE VERZONKEN PLAAT TOT -7 M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.67 M/S.	68
FIGUUR BIJLAGE E-3: SCENARIO VERHOOGING SECTOREN 2 EN 3 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.55 M/S.....	69
FIGUUR BIJLAGE E-4: SCENARIO VERHOOGING VAN SECTOR 1 TOT -4 M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.51 M/S.....	70
FIGUUR BIJLAGE E-5: SCENARIO OPVULLEN UITSCHURING. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.51 M/S.	71
FIGUUR BIJLAGE E-6: SCENARIO VERHOOGING VAN BAND 2 (ENKEL ZUIDELIJK DEEL) TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.46 M/S.	72
FIGUUR BIJLAGE E-7: SCENARIO WEGBAGGEREN VAARGEULRAND. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.33 M/S.....	73
FIGUUR BIJLAGE E-8: SCENARIO VERHOOGING SECTOR 1 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.20 M/S.....	74
FIGUUR BIJLAGE F-1: ONGEWIJZIGDE SITUATIE BATHYMETRIE 2011. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -1,39 M/S.	77
FIGUUR BIJLAGE F-2: SCENARIO VERHOOGING VAN BAND 2 TOT -4 M. MAXIMALE DWARSSNELHEID LANGS DE GROENE BOEIENLIJN: -1.15 M/S.....	78
FIGUUR BIJLAGE F-3: SCENARIO VERHOOGING BAND 2 TOT -6M (ENKEL NOORDELIJK DEEL). MAXIMALE DWARSSNELHEID: -1,13 M/S.....	79
FIGUUR BIJLAGE F-4: SCENARIO VERHOOGING SECTOR 1 TOT -4M. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -1,11 M/S	80
FIGUUR BIJLAGE F-5: SCENARIO VERHOOGING BAND 2 TOT -6M EN MET HELLENDE BODEMLIGGING. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -1,06 M/S	81

FIGUUR BIJLAGE F-6: SCENARIO VERHOOGING SECTOREN 1,2. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -1.05 M/S	82
FIGUUR BIJLAGE F-7: SCENARIO VERHOOGING BAND 2 TOT -4M. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -0,97 M/S	83
FIGUUR BIJLAGE F-8: SCENARIO VERHOOGING BAND 2 TOT -6M. MAXIMALE DWARSSNELHEID: -0.92 M/S.	84
FIGUUR BIJLAGE G-1: NEERVORMING MET BATHYMETRIE 2011. ONTSTAAN VAN NEER A.....	87
FIGUUR BIJLAGE G-2: NEERVORMING MET BATHYMETRIE 2011. VERSTERKING VAN NEER A DOOR DE VLOEDSTROOM UIT DE SCHAAR VAN OSSENISSE	88
FIGUUR BIJLAGE G-3: NEERVORMING MET BATHYMETRIE 2011. VERSTERKING EN VOORTPLANTING VAN NEER A, ONTSTAAN VAN NEER B.....	89
FIGUUR BIJLAGE G-4: NEERVORMING MET BATHYMETRIE 2011. OPWAARTSE VOORTPLANTING VAN NEER A, AFBREKING VAN NEER B, ONTSTAAN VAN NEER C.....	90
<i>FIGUUR BIJLAGE G-5: NEERVORMING MET BATHYMETRIE 2011. OPWAARTSE VOORTPLANTING VAN NEER A, AFWAARTSE VOORTPLANTING VAN NEER C</i>	<i>91</i>
FIGUUR BIJLAGE H-1: NEERVORMING MET BATHYMETRIE VAN SCENARIO BAND 2 (VERHOOGING LANGS DE PLAATRAND). ONTSTAAN VAN NEER A.....	95
FIGUUR BIJLAGE H-2: NEERVORMING MET BATHYMETRIE VAN SCENARIO BAND 2 (VERHOOGING LANGS DE PLAATRAND). VERSTERKING VAN NEER A VANWEGE DE VLOEDSTROOM UIT DE SCHAAR VAN OSSENISSE.	96
FIGUUR BIJLAGE H-3: NEERVORMING MET BATHYMETRIE VAN SCENARIO BAND 2 (VERHOOGING LANGS DE PLAATRAND). VERSTERKING EN VOORTPLANTING VAN NEER A, GELIJKTJDIG ONTSTAAN VAN NEREN B EN C.....	97
FIGUUR BIJLAGE H-4: NEERVORMING MET BATHYMETRIE VAN SCENARIO BAND 2 (VERHOOGING LANGS DE PLAATRAND). OPWAARTSE VOORTPLANTING VAN NEER A, DEMPING VAN NEER B, VERPLAATSING VAN NEER C.	98
FIGUUR BIJLAGE H-5: NEERVORMING MET BATHYMETRIE VAN DE SCENARIO BAND 2 (VERHOOGING LANGS DE PLAATRAND). LIGGING VAN NEREN A EN C OP HETZELFDE TIJDSTIP ALS FIGUUR BIJLAGE G-5	99

1. INLEIDING

1.1 KADER

Het voorliggende basisrapport Mitigatie Dwarsstroming Zuidergat (B-25) is opgesteld in het kader van programma LTV Veiligheid en Toegankelijkheid. De studie is gericht op het beantwoorden van vragen met betrekking tot de veiligheid van de scheepvaart in relatie tot de waargenomen morfologische veranderingen en daaruit voortvloeiende stromingen. In het rapport wordt de problematiek en processen van neervorming tijdens bepaalde springtijden in beeld gebracht en wordt onderzocht hoe, gebruikmakend van suppleties, de voor de scheepvaart nadelige stromingen kunnen worden gemitigeerd.

Parallel aan dit onderzoek werd onderzocht hoe de nevengeulen gebruikt zouden kunnen worden door scheepvaart met beperkte diepgang (basisrapport B-24). Het rapport heeft verder raakvlakken met de effectanalyse op mesoschaal in de Westerschelde (basisrapport K-20) en de identificatie van mogelijke alternatieve stortlocaties voor onderhoudsbaggerspecie. Tot 2001 werd het stort van Platen van Ossensisse-Oost nog gebruikt voor onderhoud met gemiddeld circa 300.000 m³/jaar (baggerstatistiek aMT); formeel was het stortvak in gebruik tot aan de start van de 3e verruiming (12 feb 2010).

1.2 BEHEER- EN ONDERZOEKVVRAGEN

Voor de rapportage met betrekking tot de scheepvaart (dwarsstroming in het Zuidergat, dit rapport, en mogelijk gebruik van de nevengeulen voor de scheepvaart met beperkte diepgang, basisrapport B-24) dienen de volgende relevante beheervragen beantwoord te worden:

- Is het mogelijk om door een morfologische ingreep de voor de scheepvaart hinderlijke dwarsstroming in het Zuidergat te verminderen? (BV T10)
- Wat zijn de te verwachten morfologische ontwikkelingen in de nevengeulen van het estuarium? Wat zijn de effecten op de morfologie en de ecologie van de daarnaast gelegen plaatgebieden bij het onderhoud van de nevengeul op een bepaalde diepte, geschikt voor de kleine vaart? (BV T11)
- Hoeveel specie zou er vrijkomen bij de aanleg van een dergelijke vaargeul en hoeveel bedraagt de jaarlijkse hoeveelheid bij onderhoud? (BV T12)
- Wat zijn de kosten van de verschillende strategieën? (BV T13)

Dit rapport zal zich enkel richten op de eerste beheervraag. Het onderzoek bouwt voort op een studie uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium, in samenwerking met IMDC:

- Decrop B., De Clercq B., Vanlede J., Van Holland G., Ides S., Plancke Y., De Mulder T. en Mostaert F. (2009). Dwarsstromingen Ossensisse-Zuidergat – rapport numeriek modelonderzoek. WL Rapporten 753_07. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/09.009/BDC, Antwerpen, België.

- Verheyen B., Vanlede J., Plancke Y. en Mostaert F. (2011). Beheersbaarheid groene boeierzijde: scenario onderzoek met het numeriek instrumentarium voor dwarsstromingen Ossenisse-Zuidergat. WL Rapporten 753_14. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/11.019/VBA, Antwerpen, België.

1.3 STRUCTUUR VAN DIT RAPPORT

Na de inleiding volgt in hoofdstuk 2 een korte beschrijving van de kenmerken van de onderzochte zone. De benadering en de inzichten van de twee eerdere studies over neervorming nabij de Plaat van Ossenisse, welke zijn uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC nv (Decrop et al., 2009; Verheyen et al., 2011), worden tevens kort beschreven.

Met het NEVLA model werden de waterstanden- en stromingsvelden berekend gedurende geselecteerde periodes waarin meetgegevens van neren beschikbaar waren. Deze periodes en de belangrijkste instellingen en aanpassingen van het numerieke model worden in hoofdstuk 3 beschreven.

De numerieke resultaten geven een gedetailleerd beeld van de ruimtelijke en tijdelijke patronen die zich vormen. Daarvan kan het aantal neren, de beweging ervan tijdens hoogwaterkentering en de tijdelijke ontwikkeling van grootte en intensiteit van de neren afgeleid worden. In de reeks simulaties die in deze studie beschreven worden, worden twee groepen onderscheiden:

In hoofdstuk 4 wordt een terugkoppeling gemaakt naar de vorige studies en wordt aan de hand van een validatie vastgesteld in hoeverre het huidige model de neeraanwezigheid betrouwbaar kan reproduceren.

De resultaten van de simulaties van de voorgestelde interventies worden gepresenteerd en geanalyseerd in hoofdstuk 5. Door middel van een aantal verkennende berekeningen wordt onderzocht wat kansrijke ingrepen zijn; vervolgens wordt een optimalisatieslag uitgevoerd.

Hoofdstuk 6, tenslotte, geeft de algemene conclusies.

1.4 CONVENTIES

De vermelde hoogtes verwijzen allemaal naar het NAP (Normaal Amsterdams Peil). Deze worden beschouwd als positief naar boven toe en worden bij voorkeur uitgedrukt in meter. Gesteld wordt dat $TAW = NAP - 2,333$ m. Naar de bodemligging wordt verwezen op basis van bodemhoogtes en naar waterpeilen wordt verwezen d.m.v. waterstanden. Beide waarden kunnen positief of negatief zijn. De waterdiepte is het verschil tussen de waterstanden en de bodemhoogtes en is altijd positief.

Geografische posities worden uitgedrukt in overeenstemming met het RD-Parijs-systeem. Deze worden bij voorkeur uitgedrukt in km. Tijd wordt tot slot uitgedrukt in MET.

2. ACHTERGROND VAN DE STUDIE

2.1 HET GEBIED

De Platen van Ossenissee verwijzen naar verschillende bij eb droogvallende platen in het midden van de Westerschelde. Deze studie heeft betrekking op de Platen van Ossenissee-Oost, welke zich bevindt aan de linkerzijde van de vaargeul, ter hoogte van Hansweert. Gemakshalve wordt voor deze plaat in dit rapport de term 'Plaat van Ossenissee' gebruikt. Hoewel de Plaat van Ossenissee een morfologisch actief gebied is in de Westerschelde, is het duidelijk te onderscheiden van de vaargeul omwille van een steile rand die begint op een bodemdiepte van -8 m.

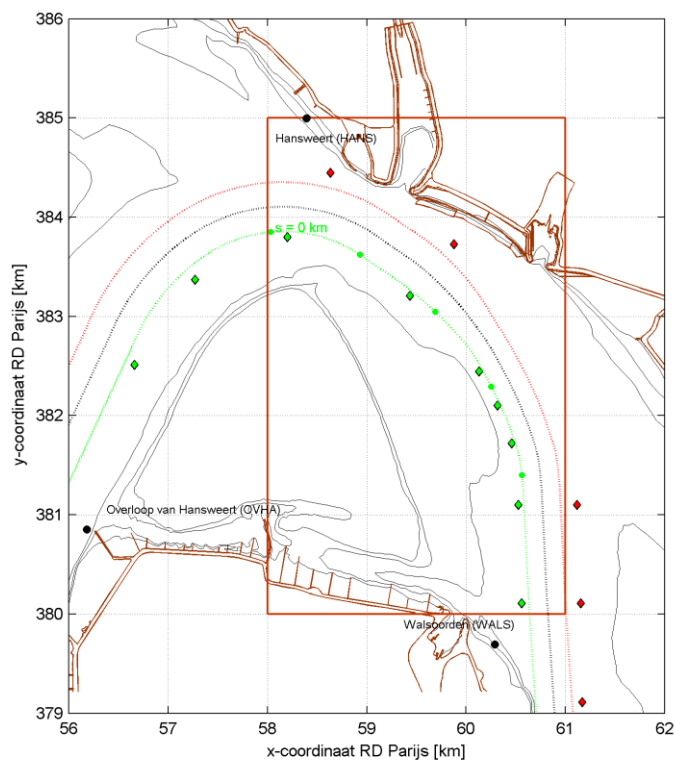
De Plaat van Ossenissee is een verhoogd en bij eb droogvallend gebied met een hoogste punt op ongeveer +2 m NAP. Aan de oostzijde van de plaat is een verzonken plateau gelegen met een gemiddelde diepte van ongeveer -7 m. Tussen de plaat en het plateau bevindt zich een steile plaatrand met een hoogteverschil van ongeveer 6 meter lopend van NNO naar ZZW. Dit plateau speelt een belangrijke rol in de neervorming en is tevens het gebied waar er morfologische interventies zijn voorgesteld de negatieve impact van de neren op de scheepvaart te reduceren.

Op de oostelijke plaatrand was tot februari 2010 een formele stortlocatie aanwezig (locatie Platen van Ossenissee-Oost, POO). Uit de baggerstatistiek blijkt dat tot 2001 het stort nog frequent gebruikt werd voor onderhoudsstortingen met gemiddeld circa 0,3 Mm³/jaar (aMT). Vermoedelijk vanwege het in onbruik raken van de stortlocatie en de aanzanding aan de groene kant van de vaargeul aan de oostkant van het stortvak welke leidde tot een verplaatsing van de betonning oostwaarts is het stortvak in de nieuwe vergunningen niet meer opgenomen.

Het traject van de vaargeul waar de aanwezigheid van neren wordt onderzocht, ligt in het Zuidergat tussen Hansweert en de Schaar van Ossenissee.

Dit gebied ligt ten oosten van de verzonken plaat. Het traject is bijna 5 km lang en wordt bij benadering afgebakend aan het uiteinde stroomafwaarts door de groene boei 47 en aan het uiteinde stroomopwaarts door boei 59A. Het betreft hier het gebied waar het containerschip Foiwaret in 2005 gestrand is. Dit gebeuren laat de impact van neren op de veiligheid binnen de scheepvaart duidelijk zien.

Figuur 2-1 toont het gebied rond de Plaat van Ossenissee, de dichtstbijzijnde meetstations voor waterstanden in Hansweert en Walsoorden, en de betonning van de vaargeul met de boeienlijnen (van 2011). De dieptecontouren geven de bodemhoogtes van -2, -4 en -8 meter NAP aan. Het rode vierkant omkadert het gebied dat gebruikt werd om de resultaten van de simulaties te bewerken en te analyseren. Het curvilineair referentiesysteem langs de groene boeienlijn wordt door het oorsprongpunt s=0 en de reeks groene stippen, die 1 km van elkaar liggen, getoond (Figuur 2-1).

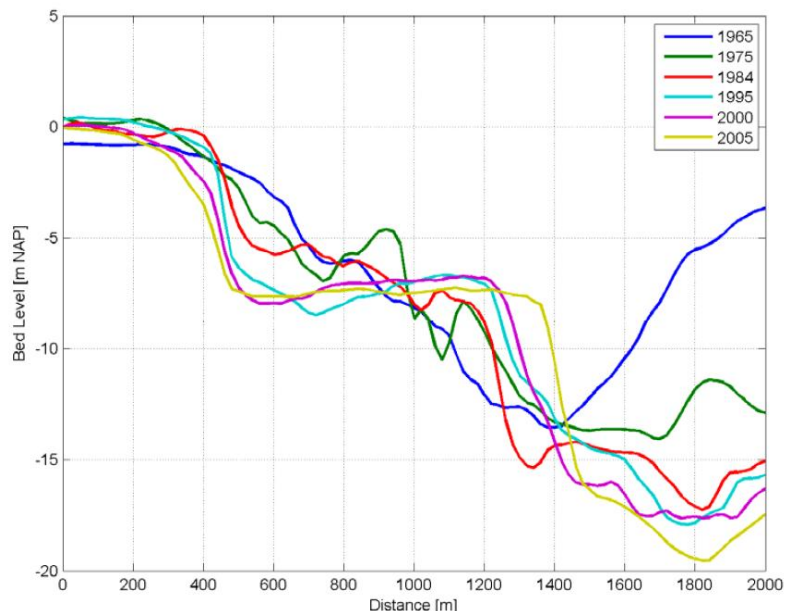


Figuur 2-1: Geografische kenmerken van de Plaat van Ossenis en het Zuidergat.

2.2 RECENTE EVOLUTIE VAN DE BODEM

Het gebied van de Plaat van Ossenis is morfologisch gezien zeer dynamisch. Figuur 2-2 toont de evolutie van de bodemhoogtes van 1965 tot 2005 op een dwarsdoorsnede van de Plaat van Ossenis met een constante coördinaat van het RD-systeem die gelijk is aan 381,5 km (Decrop et al., 2009).

Het is duidelijk dat de verzonken plaat een kenmerk is dat zich halverwege de jaren '80 begon te ontwikkelen met een progressieve ontwikkeling van de steile randen tussen de plaat, het verzonken deel en de vaargeul. In dezelfde periode is de vaargeul dieper geworden en is het diepste punt verschoven naar het oosten. Enkel de details en niet de algemene kenmerken van deze configuratie zijn sinds halverwege de jaren '90 gewijzigd.



Figuur 2-2: Ontwikkeling van de bodemhoogte in de periode 1965-2005 langs een raai met y-coördinaat 381,5 km. Bron: Decrop et al. 2009.

Figuur 2-3 toont de bodemligging van 2007 (gebruikt in Decrop et al. 2009 en Verheyen et al. 2011) en 2011, waarin de contouren hoogte-intervallen van 2 meter weergeven.

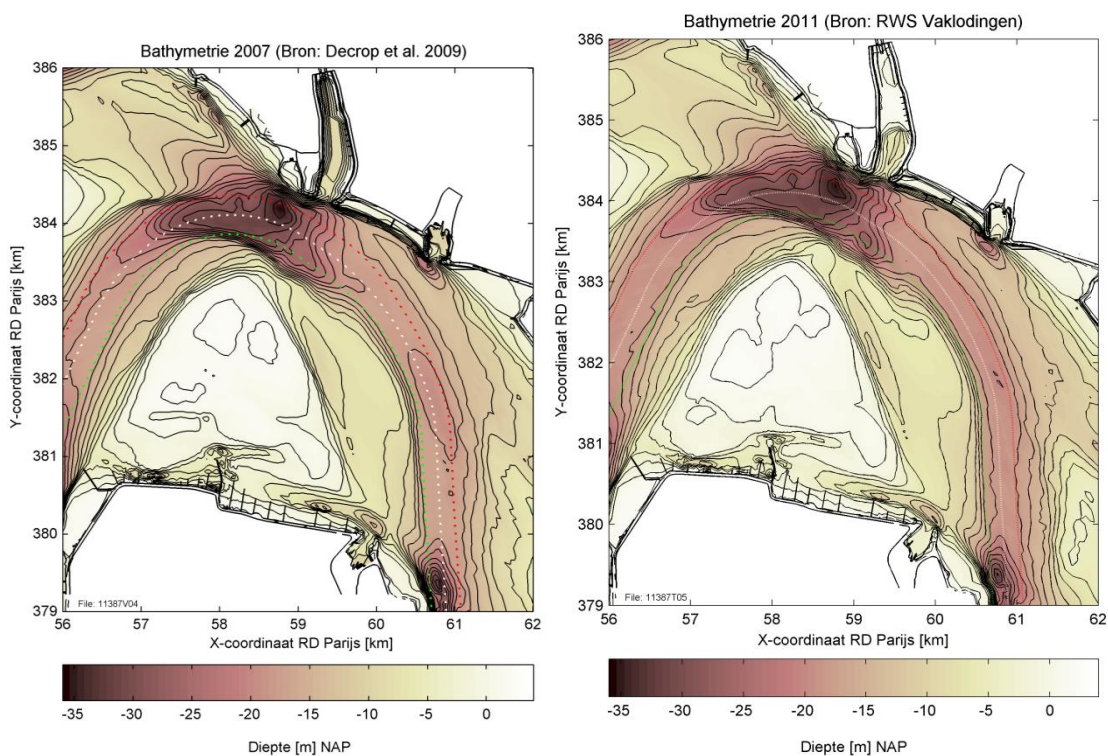
Verder toont Figuur 2-4 het verschil tussen deze twee bathymetrieën. Deze contouren met dikke lijnen geven de dieptes -2, -4 en -8m in 2011 weer. De contouren met dunne lijnen geven de diepteverschillen van 1 meter aan. Het rood weerspiegelt dan weer de afnamezones en het groen tot slot de toenamezones.

De verschilkaart laat duidelijk zien dat de huidige configuratie van de verzonken plaat het resultaat is van een intense erosie zowel van het noordelijke punt als langs de gehele plaatrand. De uitschuring langs de plaatrand is ook aanzienlijk dieper geworden.

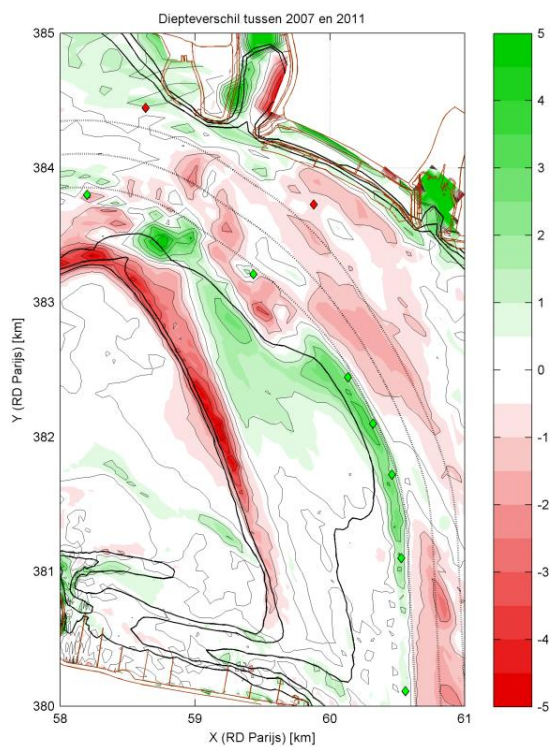
De rand van de vaargeul verder naar het oosten is zowel bij de bocht tegenover Hansweert als ter hoogte van de drempel van Hansweert verschoven. Er werd een heuvel met een hoogte van -6 m langs de noordoostelijke rand van het Zuidergat gevormd.

Verder inzicht in de bodemevolutie in het gebied kan verkregen op basis van Figuur 2-5. Hierop wordt de baggerintensiteit op de Drempel van Hansweert in dezelfde periode 2007-2011 getoond. In, maar ook naast, de vaargeul wordt er intensief gebaggerd langs de plaatrand wat gelinkt kan worden aan de oostelijke migratie van de verzonken plaat.

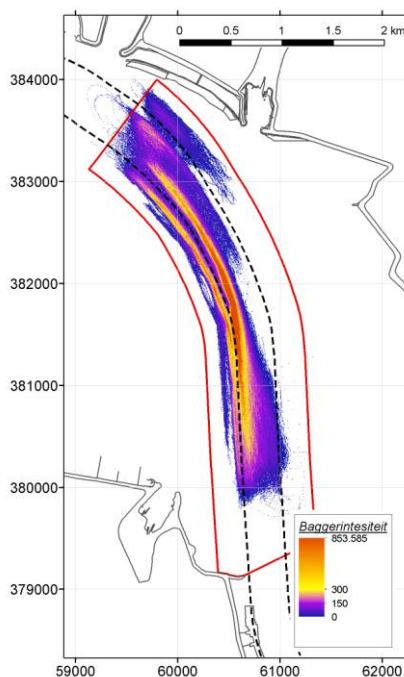
Opvallend is, dat de locaties van de afnamezones langs de plaatrand, overeenkomen met de typische posities van neren. Dit zal, in hoofdstuk 5 verder besproken worden.



Figuur 2-3: Bathymetrieën in 2007 (vorige studies) en 2011 (huidige studie)



Figuur 2-4: Diepteverschil tussen 2007 (vorige studies) en 2011 (huidige studie). Zwarte contouren uit 2011.



Figuur 2-5: Baggerintensiteit op de drempel van Hansweert tussen 2007 (vorige studies) en 2011 (huidige studies).

2.3 VORIGE STUDIES

Een grote hoeveelheid relevante informatie over het proces van neervorming rond de verzonken plaat werd gegenereerd in twee studies, die door het Waterbouwkundig Laboratorium in Borgerhout in samenwerking met IMDC (Decrop et al. (2009) en Verheyen et al. (2011)), werden uitgevoerd.

2.3.1 De simulaties

Op het moment dat bovenvermelde studies werden uitgevoerd, was de calibratie van het twee-dimensionale NEVLA-model nog niet afgerond en dit model kon op dat moment de aanwezigheid van neren niet reproduceren.

In beide studies werd daarom gebruik gemaakt van twee geneste modellen, waarbij het beschikbare NEVLA-model werd gebruikt om de stroming in de gehele Westerschelde te simuleren in SIMONA (Rijkswaterstaat, 2010). Een uitsnede van het model tussen de Overloop van Ossensisse en het Deurganckdok werd vervolgens genest in het grotere model en uitgevoerd met Delft3D.

De roosters van beide modellen zijn identiek in het gebied waar ze overlappen. De tijdstap werd tevens hetzelfde gehouden. De bathymetrie tot slot werd bijgewerkt met de recentere gegevens (Figuur 2-3 links).

In tegenstelling tot het niet volledig gecalibreerde NEVLA-model was het Delft3D-model in staat de aanwezigheid van de neer te reproduceren. Hiervoor was het nodig om de horizontale

turbulenteviscositeit te reduceren van de standaardwaarde $1 \text{ m}^2/\text{s}$ naar $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$. Activatie van de module voor secundaire stromingen (bochtstromingen) had geen merkbare invloed op de resultaten. De toepassing van de HLES-module voor de plaatsafhankelijke berekening van de turbulenteviscositeit leidde eveneens niet tot zichtbare verschillen.

De vergelijking van de gesimuleerde snelheden met metingen die werden uitgevoerd door zowel vaste instrumenten op de verzonken plaat, als door een op een schip bevestigde ADCP, werd toereikend geacht, behoudens enkele discrepanties. Deze afwijkingen bestonden voornamelijk uit het feit dat de gesimuleerde neer zich wat verder ten noorden bevond en wat breder was dan de gemeten neer.

2.3.2 Vorming en beweging van de neren

Zowel Decrop et al (2009) als Verheyen et al (2011) concentreerden zich op de (hoofd)neer die zich in het Zuidergat ten hoogte van de drempel van Hansweert vormt. De cirkelvormige beweging was verantwoordelijk voor de uitzonderlijke stromen dwars op de vaargeul. Deze stromen vormen een bedreiging voor de veiligheid van de scheepvaart.

De neer kan aangestuurd worden door het snelheidsverschil tussen de vloedstroom in de vaargeul en een tegenstroom die op de verzonken plaat loopt. Verder kent de stroom in de vaargeul een grote traagheid. Ook wanneer het eb wordt, kan de vloedstroom vervolgens verder landinwaarts terwijl de waterstanden reeds afnemen. Daarentegen is de traagheid van water op de verzonken plaat veel lager. Wanneer de waterpeil afwaarts gaan afnemen, kan de kentering van de stroming hier eerder optreden dan in de diepe vaargeul.

Wanneer een neer is gevormd, kan deze door de vloedstroom een paar kilometer stroomopwaarts worden geadvecteerd. Tijdens kentering is het cirkelvormige stromingspatroon duidelijk zichtbaar omwille van de afwezigheid van een omgevingsstroom. Op dat moment bereikt de neer de meest zuidelijke positie in de vaargeul. Wanneer de ebstroom in het gebied toeneemt, verplaatst de neer zich mee stroomafwaarts.

De neer wordt opgeheven wanneer het snelheidsverschil dat de cirkelvormige beweging in de eerste plaats ondersteunde, wordt geneutraliseerd. Dit treedt op omdat de ebstroom zowel in de vaargeul als over de verzonken plaat in dezelfde richting gaat.

In hoofdstuk 4 zal verder worden ingegaan op de verschillende neren die zich naast de hoofdneer op de verzonken plaat vormen.

2.3.3 Veiligheid navigatie

He berekende snelheidsveld maakt de identificatie van de neren op geautomatiseerde wijze mogelijk en levert zo belangrijke inzichten in de locatie waar deze neren worden gegenereerd en hoe deze zich in de tijd verplaatsen.

De effectiviteit van de ingrepen op de veiligheid voor de scheepvaart in de vaargeul wordt beoordeeld door de reductie van de transversale snelheidscomponenten (dwars op de as van de vaargeul) te bepalen.

In de studie van Decrop et al. (2009) werd een transversale snelheid van $0,8 \text{ m/s}$ gebruikt als drempelwaarde voor het afgeven van veiligheidswaarschuwingen. In deze studie worden de dwarscomponenten geëvalueerd met betrekking tot de groene boeienlijn die wordt getoond in

Figuur 2-1. Over het algemeen treden hier de hoogste dwarssnelheden op binnen de contouren van de vaargeul, en deze evaluatie kan dus beschouwd worden als conservatief.

In het bijzonder werd de gesimuleerde transversale component langs de groene boeienlijn tussen Hansweert en Walsnoorden gemonitord en werden de tijd, de waarde en de locatie van de maximumwaarden in beide richtingen geregistreerd. Overeenkomstig de conventie van Decrop et al. (2008) is de component richting op de plaat positief, terwijl de component richting van het vaarkanaal negatief is. Deze analyse wordt nader omschreven in hoofdstuk 4.

2.4 DETECTEREN VAN NEREN

In de vloeistofmechanica is het probleem van werveldetectie vrij complex (Kolar 2007). In onze context worden de dieptegemiddelde Reynolds vergelijkingen echter opgelost en de complexiteit wordt in sterke mate vereenvoudigd omdat het stromingsveld een tweedimensionaal is.

Een neer is een grootschalig stromingspatroon dat klaarblijkelijk wordt gekenmerkt door gesloten cirkelvormige stroomlijnen en heeft een typische omvang die vergelijkbaar is met de omvang van de watermassa die het bevat.

Dankzij de cirkelvormige structuur van de neren kan hun positie worden geïdentificeerd door de locatie van het midden ('het oog'). Om de baan van een neer automatisch te kunnen volgen, is een criterium nodig om het oog van de neer te kunnen identificeren. De volgende condities zijn beschikbaar:

- De totale energie per eenheidsgewicht van de stroming, gedefinieerd als $h+v^2/2g$, heeft een lokaal minimum in het midden van de neer. Dit is omdat de radiale krachten naar het midden van de neer gericht moeten zijn om een cirkelvormige beweging te kunnen ondersteunen. Dit is enkel mogelijk als de (dynamische) drukkrachten een minimum hebben in het midden van de neer. (In de praktijk is de term h één of twee ordes van grootte groter dan de term $v^2/2g$.)
- De vorticeit van de stroming, gedefinieerd als het verschil van $du/dy-dv/dx$, heeft een lokaal maximum in het midden van de neer. Omdat de vorticeit negatief kan zijn, wordt hier verwezen naar de absolute waarde ervan.

Beide criteria zijn een noodzakelijke, maar geen voldoende conditie. Lokale minima van totale energie en lokale maxima van vorticeit kunnen ook optreden op locaties zonder neren. In het geval van onze simulaties zijn neren duidelijke kenmerken van het stromingspatroon en is het absolute minimum van de totale energie redelijk effectief gebleken. In de afbeeldingen van dit rapport worden deze punten aangegeven door een reeks blauwe stippen.

3. MODELOPZET

3.1 AANNAMES EN VERONDERSTELLINGEN

Deze studie is uitgevoerd op basis van enkele werkhypothesen die hieronder besproken zullen worden.

Hoewel de numerieke simulaties van het stromingsveld in de gehele Westerschelde werden uitgevoerd, werd alleen het stromingspatroon in de regio van de Plaat van Ossensse tussen Hansweert en Walsoorden geanalyseerd en becommentarieerd.

In de resultaten wordt vooral gefocust op enkele uren rond hoogtij bij Hansweert en dit enkel op de dagen waarop neren met een aanzienlijke snelheid werden gemeten.

De maatregelen voor het verzachten van de dwarsnelheid in de vaargeul, die wordt veroorzaakt door de neren, zouden bij voorkeur gerealiseerd worden door het storten van sediment dat beschikbaar wordt gemaakt door de baggerwerkzaamheden voor onderhoud in het gebied.

Enkel het effect van neren langs de groene boeienlijn (linkeroever) wordt in beschouwing genomen.

3.2 DE SOFTWARE

De gecalibreerde versie van het NEVLA-model van 2006 werd gebruikt (Vanlede et al., 2009), met aanpassingen die worden omschreven in de volgende paragrafen en worden samengevat in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Verschillen tussen NEVLA2006 en de voor neersimulaties gebruikte modellen

Aspect	Gecalibreerde NEVLA2006 model	Vorige studies		Huidig NEVLA model
		NEVLA	Genest Delft3D	
Zeeland	Noordzee	Westkapelle – Cadzand/Zeebrugge	n.v.t.	Westkapelle – Cadzand/Zeebrugge
Randvoorwaarden	Astronomische constituenten	Metingen	Tijdreeksen uit het NEVLA model	Metingen
Horizontale eddy viscositeit [m^2/s]	1		0.1	
Ruwheid	Gecalibreerd veld (E29)		Aangepaste ruwheid op de verzonken plaat	Aangepaste ruwheid (validatie) Gecalibreerd veld (scenario's)

Het NEVLA-model werkt d.m.v. de software SIMONA (versie Simona2011, revisie 3969) van Rijkswaterstaat. De post-processing van de met Simona2011 geproduceerde resultaten gebeurde met de Matlab[®]-software.

3.3 GESIMULEERDE NEERPERIODEN

Op de volgende tijdstippen werden neren geobserveerd welke onderzocht worden in de studie:

- **7 april 2008.** Deze dag wordt voor de validatie gebruikt. Dit moment werd tevens opgenomen in de vorige gezamenlijke studies die werden uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC (Decrop et al., 2009; Verheyen et al. 2011). De simulatie van deze neer levert een verband met het vorige onderzoek. Net als bij de vorige studies worden de simulatieresultaten vergeleken met de metingen ter controle van het model. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 4.
- **21 maart 2011,** die voor de scenario's wordt gebruikt. Om rekening te houden met het feit dat de Westerschelde morfologisch zeer dynamisch is, werd de bodem gebruikt van het meest recente jaar waarvoor een bathymetrie van de Westerschelde beschikbaar is. Deze dag werd gekozen omwille van de aanwezigheid van een bijzonder intensieve neer. Dit geval werd gebruikt om te beoordelen hoe effectief diverse interventies aan de bathymetrie van de verzonken plaat zijn. De resultaten van deze oefeningen worden besproken in paragraaf 5.

De simulaties betreffen een periode van tenminste 10 dagen voorafgaand aan de dag dat de neer optrad. Er werd gecontroleerd of alle effecten van de begincondities uitgewerkt zijn en, of de stroomvelden het verwachte gedrag volgden.

De aandacht werd gericht op de periode rond hoogtij. Deze periode, die begint vanaf het tijdstip waarop het verschil in waterpeil tussen Terneuzen en Hansweert het grootst is (dus enige tijd voordat het hoogtij begint in de betreffende regio) tot een tijdstip, drie uur later, wanneer de getijdenstromen zijn omgekeerd en de neer haar kracht heeft verloren of volledig is verdwenen. De snelheidskaarten werden geproduceerd en geanalyseerd voor tijdstippen met een interval van 1 minuut.

3.4 RANDVOORWAARDEN

Het gebruikte NEVLA model heeft de zeerland aan de Scheldemonding langs de roosterlijn die Westkapelle en de kustlijn tussen Cadzand en Zeebrugge verbindt. De positie van deze rand komt overeen met de aanpak in Decrop et al. (2009) en Verheyen et al. (2011).

Getijmetingen zijn beschikbaar in Westkapelle en in Cadzand. Deze aangepaste grens maakt het mogelijk om tijdreeksen van gemeten waterstanden te gebruiken als randvoorwaarden voor de stroming in de riviermond. Deze werkwijze houdt tevens rekening met de aanwezigheid van stormopzet in de Noordzee. De gegevens bevatten de gemiddelde waterstanden met intervallen van 10 minuten en worden beschikbaar gemaakt door het Hydro Meteo Centrum Zeeland van Rijkswaterstaat. Toepassing van de randen wordt verder besproken in paragraaf 4.

3.5 BATHYMETRIE

Voor de validatie met de neervorming op 7 april 2008 werd dezelfde bathymetrie gebruikt als bij in Decrop et al. (2009). De gegevens bestonden uit een combinatie van de oorspronkelijke

bathymetrische informatie van het gecalibreerde NEVLA 2006-model en de gegevens van de meest recente peilingen uit 2007 (Figuur 2-3 links).

Voor de simulatie van de neervorming op 21 maart 2011, werden de beschikbare datasets gebruikt van de Vaklodingen 2011 voor het Nederlandse grondgebied van de Westerschelde (Rijkswaterstaat, Vaklodingen) en de gegevens uit 2011 voor de Beneden-Zeeschelde. Voor de door deze dataset niet gedekte gebieden (de Noordzee en de bovenste zijrivieren van de Schelde) werden dezelfde gegevens gebruikt als bij het NEVLA 2006 model. Deze gebieden worden gekenmerkt door een veel minder dynamisch regime en liggen in elk geval ver van de Plaat van Ossensisse (Figuur 2-3 rechts).

3.6 INSTELLING MODELPARAMETERS

Er wordt benadrukt dat het huidige, gecalibreerde NEVLA2006 model in staat is om de aanwezigheid van neren op basis van de standaardinstellingen weer te geven, hoewel deze niet absoluut overeenkomen met de in het veld gemeten waarden.

Voor de turbulenteviscositeit kan invloed hebben op de reproductie van neren, aangezien het de intensiteit weergeeft van de uitwisseling van een horizontale impuls als gevolg van de snelheidsgradiënten. Voor alle simulaties die worden voorgesteld in deze studie is de uniforme horizontale turbulenteviscositeit gereduceerd van $1 \text{ m}^2/\text{s}$ (standaardwaarde van het gecalibreerde NEVLA 2006-model) naar $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$. Deze gereduceerde waarde werd gebruikt in het geneste model van Decrop et al. (2009) en Verheyen et al. (2011) om de vorming van de neer nauwkeuriger te kunnen simuleren.

Verder wijzigden Decrop et al. (2009) de ruwheid op de Plaat van Ossensisse om zo de geofysische kenmerken van de bodemoppervlakte beter weer te kunnen geven. Hiervoor gebruikten zij een ruwheidcoëfficiënt over de verzonken plaat die lager is dan volgens het principe van de 'macro-cellen' in het gecalibreerde NEVLA2006 model. Deze keuze werd gemaakt op basis van het modelleren van de neren van 2008. Echter, omdat de bodemligging in 2011 al sterk veranderd is (Figuur 2-4) en de scenario's daar verder aan moeten worden aangepast, werd de nauwkeurige afregeling van de ruwheid voor dat jaar in deze studie buiten beschouwing gelaten. Voor de scenario's werden de standaard ruwheden van het gecalibreerde NEVLA model gebruikt.

Alle andere numerieke parameters (bijvoorbeeld de tijdstap) nemen de standaardwaarden van het gecalibreerde NEVLA 2006-model.

4. VALIDATIE MODEL

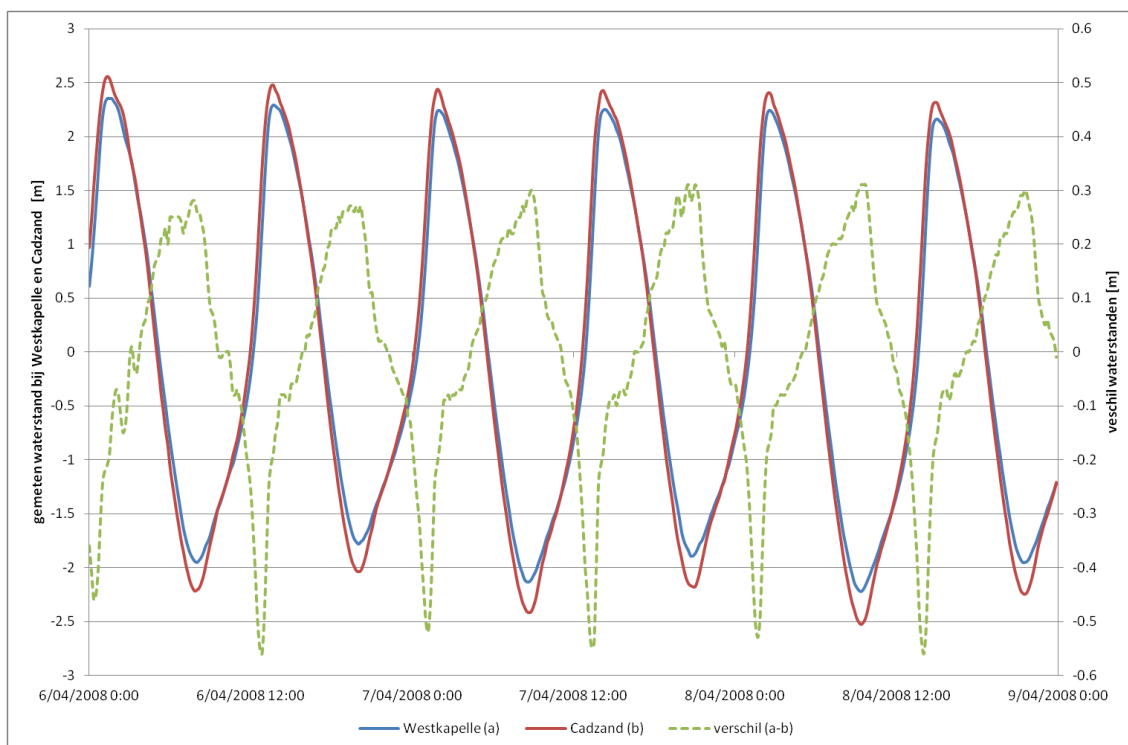
Het model werd gevalideerd door de *hindcasting* van de neren van 7 april 2008 en de simulatiere resultaten te vergelijken met de ADCP-metingen die langs de groene boeienlijn werden uitgevoerd. Ook in de eerdere studies werden de neren in deze periode (6 tot 8 april 2008) bestudeerd (Decrop et al., 2009; Verheyen et al., 2011).

De neer van 7 april is gekozen omdat deze de hoogste dwarsnelheid heeft van de drie dagen. De simulatiegegevens die zijn geanalyseerd, beginnen dichtbij het tijdstip met het hoogste verschil in waterpeil tussen Hansweert en Terneuzen (omstreeks 14u45) en beschrijven de volgende drie uur.

4.1 ZEERANDVOORWAARDEN

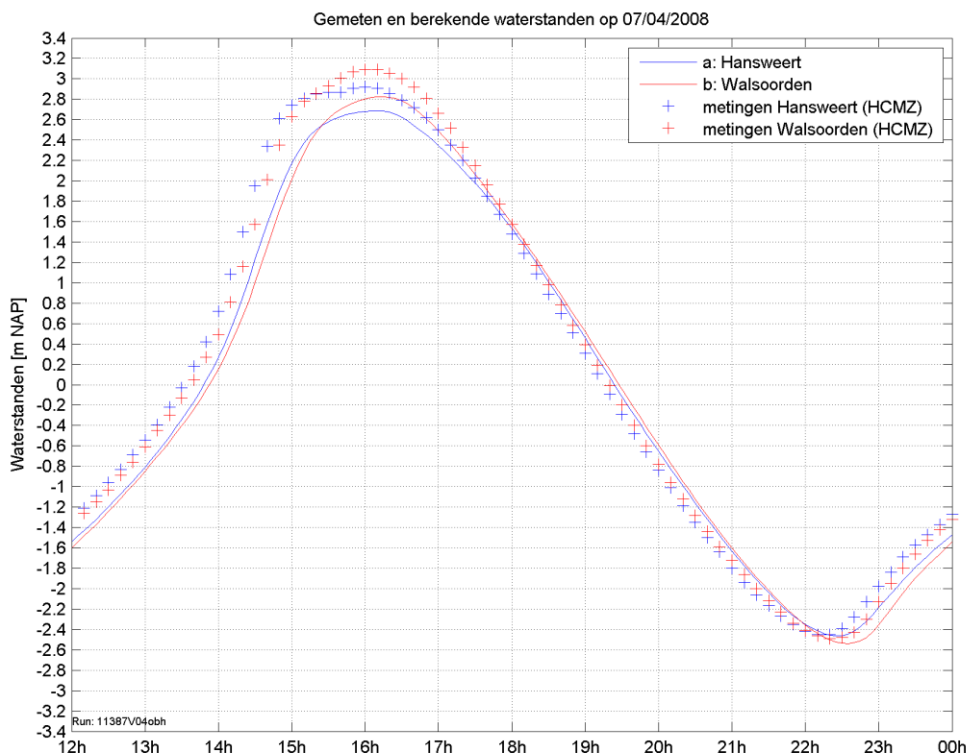
Zoals vermeld in paragraaf 3.3, wordt het gecalibreerde NEVLA2006 model aangestuurd door de gemeten tijdreeks van waterstanden bij de roosterlijn tussen Westkapelle en Cadzand/Zeebrugge. Terwijl Westkapelle rechts van de grens ligt, ligt het station van Cadzand meer naar het westen dan het uiteinde van de grens.

Om een tijdreeks van waterstanden van Cadzand toe te passen aan het zuidelijke uiteinde van het model, werd de tijdreeks naar 10 minuten eerder verschoven om rekening te houden met het feit dat de getijdengolf eerder bij de grens van het model aankomt dan bij het meetpunt. Deze aanpak werd ook in de vorige studies gevolgd. De gemeten waterstanden bij Westkapelle en Cadzand voor de dagen 6 tot 8 april worden getoond in Figuur 4-1.



Figuur 4-1: Gemeten waterstanden bij Westkapelle en Cadzand in de periode van 6 tot 8 april 2008. Het verschil daarvan is weergegeven op de secundaire as.

Figuur 4-2 toont de vergelijking tussen de gesimuleerde en de gemeten waarden van de waterstanden bij Hansweert en Walsoorden, dus rond de Plaat van Ossensisse. Er blijkt een faseverschuiving te bestaan van ongeveer 20 minuten en de gesimuleerde piekwaterstanden blijken te worden onderschat. De hellingsgraad van de curven, dh/dt , komt echter goed overeen met de meting; de hellingsgraad is een parameter die in sterke mate is gecorreleerd aan de neervorming (Decrop et al. 2009).



Figuur 4-2: Vergelijking van gemeten en gesimuleerde waterstanden bij Hansweert en Walsoorden op 7 april 2008.

4.2 VERGELIJKING MET DE MOBIELE ADCP METINGEN

Het ADCP systeem heeft het verticale snelheidsprofiel gemeten ten westen van de groene boeienlijn in de periode tussen 13u09 en 17u04. Deze metingen werden langs 18 trajecten van verschillende lengten opgenomen, waarbij heen en terug gevaren werd. De profielen werden gemeten met intervallen van 4 seconden.

Figuur Bijlage A-1 en Figuur Bijlage A-2 in Bijlage A tonen de gemeten dieptegemiddelde snelheidsvectoren langs de trajecten die werden gevaren tussen 15u30 en 17u04. De passage van het meetschip vlakbij of over het oog van de neer treedt op wanneer de dwarsnelheid nul is. Wanneer het meetschip haar vaarrichting in de vaargeul omkeert, komt het de bewegende neer nogmaals tegen.

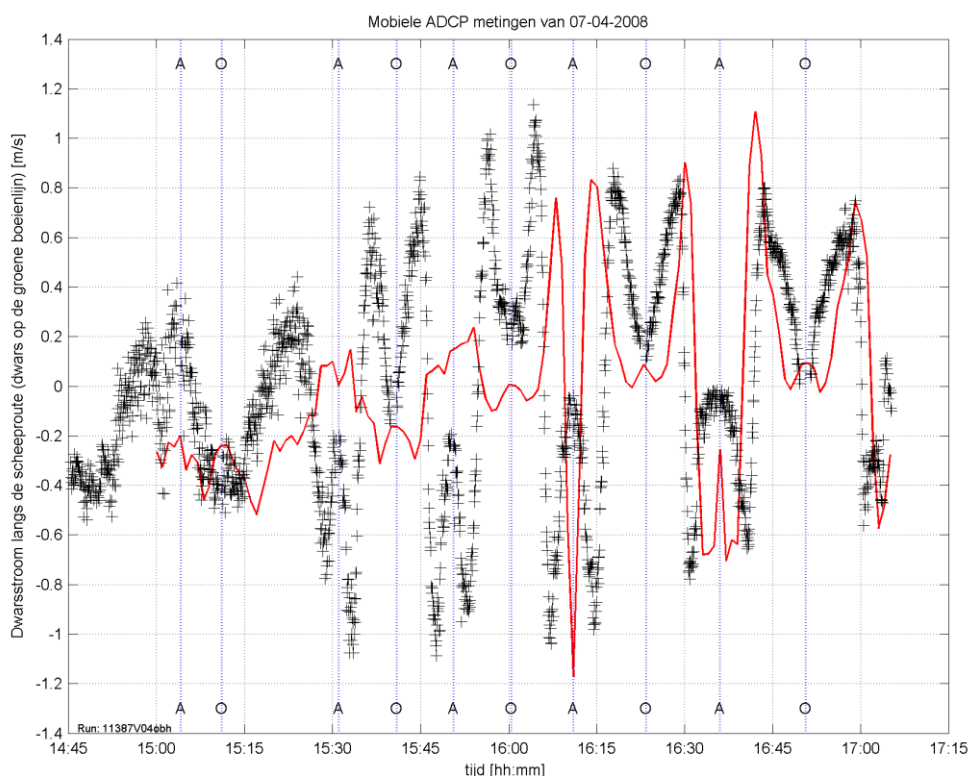
De ontwikkeling van een sterke neer ontstaat omstreeks 15u30. De neer beweegt opwaarts tot ongeveer 16u15 en wordt van ongeveer 16:30 door de opkomende ebstroming afwaarts getransporteerd.

Daarnaast in de afbeeldingen van Bijlage A wordt het oog van de berekende neer gedurende dezelfde periodes ook weergegeven door blauwe stippen. Labels met tijdsaanduidingen in de grafiek helpen bij het aangeven van de richting waarlangs het meetschip en de berekende neer bewegen.

Figuur 4-3 vergelijkt de gesimuleerde (lijn) en de gemeten (kruisen) dwarssnelheden (y-as) vanaf het varende meetschip in functie van de tijd (x-as). Het schip vaart afwisselend in opwaartse en afwaartse richting.

De neer draait met de klok mee. Positieve dwarssnelheden zijn gericht naar de plaat, terwijl negatieve waarden zijn gericht naar de as van de vaargeul. Dus als het meetschip *opwaarts* vaart, komt het eerst de negatieve dwarssnelheden tegen en daarna de positieve. Als het meetschip *afwaarts* vaart, geldt het omgekeerde. De tijdstippen waarop het meetschip haar richting omkeert, worden aangegeven door de blauwe stippellijnen met een letter die aanduidt of het schip zich opwaarts 'O' of afwaarts 'A' bevindt.

Zoals te zien zijn de hoogste geregistreerde dwarssnelheden juist hoger dan 1 m/s voor zowel het model als voor de metingen. Het nadeel van deze gekozen weergave is dat een andere positie van de neer tot opvallende verschillen in de figuur kan leiden. Dit is het geval gedurende de eerste uren van de neervorming.



Figuur 4-3: Gemeten (kruisen) en berekende (lijn) dwarssnelheden langs het traject van het meetschip voor de neer van 7 April 2008.

De rode lijn op Figuur 4-3 laat de berekende dwarssnelheden op de posities van het meetschip zien. De vergelijking bevestigt de initiële discrepantie tussen de gesimuleerde en de gemeten neren. Na 16u10 wordt de overeenkomst van de dwarssnelheden goed.

Uit de afbeeldingen in Bijlage A blijkt inderdaad dat in de eerste periode van de metingen de berekende neer nog te noordelijk ligt, maar nadien wordt de nauwkeurigheid ook in de positie van het neeroog beter. De periode met de beste overeenkomst in snelheden treedt op als de afstand tussen de neerogen het kleinst is. De grootte van de dwarssnelheden wordt dan licht overschat maar is van dezelfde orde van grootte van de maximale gemeten sterkte.

De afstand tussen de kruisen en de lijn in de grafiek geeft een vertraging weer in grootteorde van 5-10 minuten, die een ruimtelijke afstand aanduidt tussen het gemeten en berekende oog van de neer. Deze vertraging kan deels worden toegeschreven aan het verschil van gemeten en berekende waterstanden dat in Figuur 4-2 te zien was.

Deze resultaten zijn overal consistent met de analyse van Decrop et al. (2009) die speciale aandacht besteedt aan de periode tussen 16u00 en 16u20.

4.3 EVALUATIE RESULTATEN VALIDATIE

Voor de eerste deel van de levensduur van de neer blijkt er een verschil tussen het traject van de gemeten neer en dat van de gesimuleerde neer. De resultaten van het numerieke model in de vroegste fase van de neervorming zijn voor verbetering vatbaar (bijvoorbeeld wat betreft de capaciteit van het model om de tijkromme bij stijgende water bij Hansweert en Walsoorden te simuleren).

De resultaten met het aangepaste, gecalibreerde NEVLA2006 zijn gelijkaardig aan en vergelijkbaar met de resultaten uit Decrop et al. (2009) en Verheyen et al. (2011). Het is wel te verwachten dat bij een verbeterde calibratie van de waterstanden in het hydrodynamische model de voorspelling van de positie van de neer eveneens verbetert. Voor het voorliggend onderzoek wordt de neer echter in voldoende mate gereproduceerd.

Er wordt geconcludeerd dat het model ingezet kan worden om de scenario-analyses uit te voeren. Desondanks de periode van beperkte nauwkeurigheid, kan het model waardevolle inzichten verstrekken in realistische stroompatronen die de neervorming bevorderen. Op die manier wordt een duidelijker beeld gevormd van welke morfologische ingrepen effectief de bestaande situatie kunnen beïnvloeden.

5. SCENARIO'S

5.1 REFERENTIESITUATIE

Als referentiesituatie voor de scenario berekeningen wordt de periode in 2011 gebruikt, overeenkomstig met de meest recente beschikbare bathymetrie (paragraaf 2.2).

Gebaseerd op de visuele inspectie van de meetrapporten die werden geproduceerd door de Meetadviesdienst van RWS Zeeland, naar aanleiding van de waarschuwingen voor neren die werden afgegeven in 2011, werd de neer van de middag van 21 maart 2011 geselecteerd. Deze lijkt de hoogste dwarssnelheden (in de orde van 1,40 m/s) te hebben. Op die dag treedt het maximale verschil in waterpeil tussen Hansweert en Terneuzen op om 14:45 uur.

De neer van 21 maart 2011 is daarom de referentiesituatie die wordt gebruikt voor het evalueren van de effectiviteit van de alternatieve scenario's. Tabel 5-1 vat de informatie samen over belangrijke tijdstippen in de gesimuleerde periode.

Uit de simulatie van deze referentiesituatie zijn de dwarssnelheden langs de groene boeienlijn als volgt:

- Maximale dwarssnelheid richting de oever: 0,8 m/s (om 17:05 uur)
- Maximale dwarssnelheid richting de vaargeul: 1,4 m/s (om 16:35 uur)
- Maximale instantane dwarssnelheidsverschil: 2,2 m/s
- Afstandsbereik tussen maximum- en minimumsnelheden: variabel rond 300 m.

Tabel 5-1 Belangrijke tijdstippen in de gesimuleerde neer van 2011

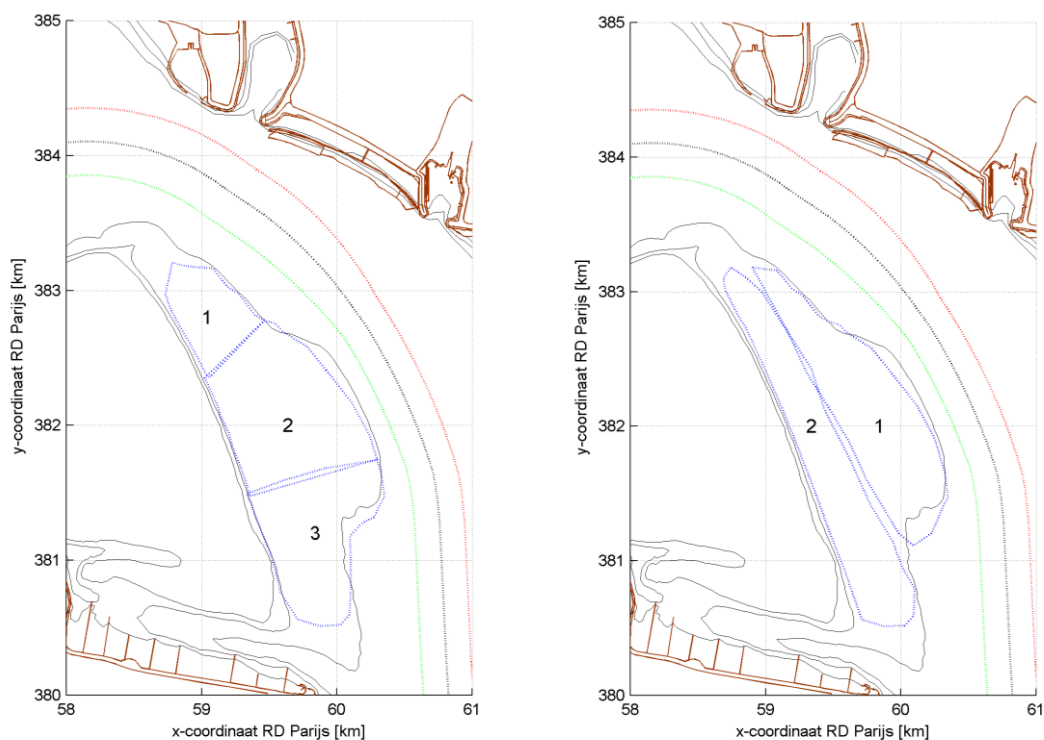
Tijdstip	Omschrijving
13 maart 2011 0:00	Begin gesimuleerde periode NEVLA model
21 maart 2011 14:45	Maximaal verschil waterstanden Terneuzen-Hansweert Begin geanalyseerde periode i.v.m. neervorming
21 maart 2011 15:55	Gelijke waterstanden bij Hansweert en Walsoorden: vloed in het Zuidergat daarvoor, eb daarna
21 maart 2011 18:15	Einde geanalyseerde periode

5.2 VERKENNENDE BEREKENINGEN

5.2.1 Beschrijving en kenmerken van de scenario's

Om de invloed van sedimentstortingen (suppleties) op de neervorming in het Zuidergat te onderzoeken worden een aantal verkennende berekeningen uitgevoerd. Uitgangspunt hierbij is dat het enkel stortingen betreft (dus geen baggerwerken) en dat de stortingen plaatsvinden op de verdiepte plaat. Hiertoe wordt het gebied opgedeeld in 'sectoren' en 'banden'. Deze

verdeling wordt getoond in Figuur 5-1. De oppervlaktes volgens deze opdeling wordt getoond in Tabel 5-2.



Figuur 5-1: Verdeling van de verzonken plaat in sectoren (links) en banden (rechts).

Tabel 5-2 Oppervlaktes van sectoren en banden

Scenario	Oppervlakte (ha)
Sector 1	24
Sector 2	85
Sector 3	70
Band 1	78
Band 2	91

Met de verkennende berekeningen willen we onderzoeken of de neervorming kan verminderd worden door de weerstand te verhogen op de plek waar de neer ontstaat, of door het in opwaartse richting verplaatsen van de neer tegen te gaan, dan wel de tegenstromingen die tijdens eb langs de verzonken plaat lopen te verhinderen. Door de hele plaatrand of een deel ervan op te hogen wordt mogelijk de noodzakelijke tegenstromingen over de plaat tegengegaan en zo neervorming gereduceerd. Een overzicht van de uitgevoerde verkennende berekeningen, met een achterliggend idee, wordt gegeven in Tabel 5-3.

Langs de plaatrand kan in de bodemligging een verdieping van de bodem waargenomen worden (zie bijvoorbeeld Figuur 2-2). Op deze locatie ontstaat ook de tegenstroming die uiteindelijk mede verantwoordelijk is voor het aandrijven van de neer. Er is daarom besloten om in alle scenario's (behalve 'band 1') deze uitschuring langs de plaatrand op te vullen tot dezelfde bodemhoogte als het de bijliggende plateau (NAP -8 m). Let op: hierdoor neemt het aan te brengen volume (en het oppervlakte van het gebied dat opgehoogd moet worden) voor ieder scenario toe.

Tabel 5-4 geeft een overzicht van het volume van het te storten sediment voor elk scenario. De gewijzigde bathymetrieën van deze scenario's worden getoond in Bijlage A. De aan wijziging onderhevige gebieden liggen tussen NAP -8 m en NAP -6 m.

Tabel 5-3 Eerste analyse. Beschrijving scenario's.

Naam	Soort interventie	Locatie	Verantwoording
Sector 1	Bodemverhoging tot -6 m	Vlakbij het punt, tegenover Hansweert	Het vervroegd verhinderen van de neervorming bij de bocht door toegenomen weerstand
Sector 2	Bodemverhoging tot -6 m	In het middengedeelte	Het verhinderen van de opwaartse beweging van de (hoofd)neer
Sector 3	Bodemverhoging tot -6 m	In het zuidelijke gedeelte, voor de schaar van Ossensisse	Het verhinderen van de tegenstromingen die tijdens eb langs de verzonken plaat lopen
Sectoren 1, 2, 3	Bodemverhoging tot -6 m	Combinaties van de bovenstaande	Het reduceren van de traagheid van de hele tegenstromingen vanwege de toename van de bodemweerstand
Band 1	Bodemverhoging tot -6 m	Langs de vaargeul	Het benadrukken van het onderscheid tussen de tijdstroom langs de geul en de tegenstroom over de verzonken plaat
Band 2	Bodemverhoging tot -6 m	Langs de plaatrand	Het verkleinen van de doorsnede van de tegenstroom over de verzonken plaat en het reduceren de traagheid daarvan

Tabel 5-4 Eerste analyse. Kenmerken scenario's

Scenario	Bodemvorm en -hoogte	Volume (M m ³)	Afbeelding in Bijlage A
Sectoren 1, 2, 3	Vlak -6m	2.63	<i>Figuur Bijlage B-2</i>
Sector 1	Vlak -6m	0.65	<i>Figuur Bijlage B-3</i>
Sector 2	Vlak -6m	1.30	<i>Figuur Bijlage B-4</i>
Sector 3	Vlak -6m	1.28	<i>Figuur Bijlage B-5</i>
Band 1	Vlak -6m	0.72	<i>Figuur Bijlage B-6</i>
Band 2	Vlak -6m	1.75	<i>Figuur Bijlage B-7</i>

5.2.2 Resultaten

Voor alle verkennende scenario's zijn in Bijlage C de vectorvelden op het tijdstip van maximale dwarsnelheid getoond. Opvallend hierbij is de aanwezigheid van een tweede neer nabij de noordelijke uitloper van de plaat. Hierop wordt in paragraaf 5.4 verder ingegaan.

De scenario's worden geëvalueerd door de maximale dwarssnellheden langs de groene boeienlijn (ongeacht de richting) in de periode 14u45-18u15 te berekenen. De resultaten worden in Tabel 5-5 in toenemende orde van effectiviteit gerangschikt.

De donkere arcering in Tabel 5-5 duidt de scenario's aan die een negatief effect hebben, terwijl de lichtere arcering naar diegene verwijst die de dwarsnelheid tot 85% (tot 1.2 m/s, 1.4 m/s in de referentiesituatie) reduceren. De resultaten laten zien dat een verbetering, een afname van de dwarssnellheden, mogelijk is. Echter de afname is nog niet voldoende. De interventies worden kansrijk geacht wanneer deze leiden tot een reductie van minstens 15% van de maximale dwarsnelheid langs de groene boeienlijn. In de volgende paragrafen zal worden onderzocht of er nog optimalisaties mogelijk zijn.

Het meest effectieve scenario is band 2. De berekende maximale dwarsnelheid (0,92 m/s) ligt ook dichtbij de referentiedrempel 0,8 m/s die gebruikt wordt door Decrop et al (2009) om de vaartveiligheid in het Zuidergat te beoordelen.

Gezien het model de reële dwarssnellheden mogelijk licht overschat (paragraaf 4.2) blijkt scenario met band 2 een effectief mitigerende maatregel te zijn. In de volgende sectie zal onderzocht worden of deze maatregel verder geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 5-5 Verkennende berekeningen - Dwarssnelheden op de groene boeienlijn, gerangschikt volgens afnemende dwarssnelheid

Scenario	Grootte [m/s]	Verhouding scenario/referentie	Volume [Mm ³]	Afbeelding in bijlagen
Referentie	-1.39	-	-	<i>Figuur Bijlage C-1</i>
Sector 3	-1.53	110%	1.28	<i>Figuur Bijlage B-3</i>
Band 1	-1.39	100%	0.72	<i>Figuur Bijlage C-3</i>
Sector 2	-1.21	87%	1.3	<i>Figuur Bijlage C-4</i>
Sector 1	-1.2	86%	0.65	<i>Figuur Bijlage C-5</i>
Sectoren 1, 2, 3	-1.19	86%	2.63	<i>Figuur Bijlage C-6</i>
Band 2	-0.92	66%	1.75	<i>Figuur Bijlage C-7</i>

5.3 OPTIMALISATIE BEREKENINGEN

5.3.1 Beschrijving en kenmerken van de scenario's

Op basis van de inzichten uit de eerste analyse werden een twaalfstal varianten van de scenario's uit paragraaf 5.2 ontworpen verschillend locatie en volume van het aan te brengen sediment. Het doel is tweeledig. Enerzijds wordt gezocht naar mogelijkheden om de dwarsstromingen verder te reduceren. Anderzijds wordt onderzocht of het mogelijk is om met een kleiner volume het zelfde of een vergelijkbaar resultaat te verkrijgen.

Twee scenario's worden toegevoegd waarbij baggeren van de plaatrand wordt toegestaan. Het eerste scenario betreft het afronden van de noordelijke uitloper van de Plaat van Ossensisse. Deze is in de laatste jaren naar het Noorden toe uitgebouwd en spitsier geworden. Dit zou een loslating van de neer hebben kunnen versterkt. Het tweede betreft de uitbreiding van de plaatrand naar het Oosten, richting de vaargeul. Vermoed wordt dat met het uitbreiden van de verdiepte plaat ook de neerstromingen meer in de vaargeul optraden, in plaats van juist ernaast.

De beschrijvingen van deze aanvullende scenario's worden in Tabel 5-6 gegeven. Voor alle scenario's wordt de uitschuring langs de plaatrand opnieuw opgevuld tot dezelfde bodemhoogte als het de bijliggende plateau (-8 m). Het opvullen van de uitschuring is nu ook een zelfstandig scenario.

Tabel 5-7 geeft een overzicht van het volume van het te storten sediment voor elk scenario. De gewijzigde bathymetrieën van deze scenario's worden getoond van in Bijlage D. De aan wijziging onderhevige gebieden liggen tussen -8 meter en -4 meter ten opzichte van het NAP.

Tabel 5-6 Aanvullende testen. Beschrijving scenario's

Naam	Soort interventie	Locatie	Verantwoording
Sector 1 hoog	Bodemverhoging tot -4 m	Vlakbij het punt, tegenover Hansweert	Variant van Sector 1 met een extra 2 meter storting daarop
Sector 1 hoog/uitgebreid	Bodemverhoging tot -4 m	Vlakbij het punt, tegenover Hansweert	Variant van 'Sector 1 hoog' op een breder gebied
Sectoren 1, 2	Bodemverhoging tot -6 m	Vlakbij het punt en in het middengedeelte	Het reduceren van de traagheid van de hele tegenstromingen vanwege de toename van de bodemweerstand
Sectoren 2, 3	Bodemverhoging tot -6 m	In het midden- en zuidelijke gedeeltes	Het reduceren van de traagheid van de hele tegenstromingen vanwege de toename van de bodemweerstand
Opvulling van de uitschuring	Bodemverhoging tot -8 m	Langs de plaatrand	Het verdwijnen van de door de uitschuring uitgeoefend mindere weerstand
Punt platmaken	Wegbaggeren tot -7 m	Op het punt van de plaat tegenover Hansweert	Het vervroegd verhinderen van de neervorming door de stroomluwe zone bij de bocht te verwijderen
Band 2 noord	Bodemverhoging tot -6 m	Langs de plaatrand ten noorden van Y=382 km	Variant van Band 2 enkel op het noordelijke deel (mogelijke invloed op de vroege neervorming)
Band 2 zuid	Bodemverhoging tot -6 m	Langs de plaatrand ten zuiden van Y=382 km	Variant van Band 2 enkel op het zuidelijke deel (mogelijke invloed op de ebstroom)
Band 2 hellend	Bodemverhoging tot -6 m	Langs de plaatrand	Variant van de Band 2 met een hellende ligging
Band 2 hoog/breed	Bodemverhoging tot -4 m	Langs de plaatrand	Variant van de Band 2 met een extra 2 meter storting daarop
Band 2 hoog/smal	Bodemverhoging tot -4 m	Langs de plaatrand	Variant van de Band 2 hoog met een kleiner stortingsgebied
Vaargeul	Wegbaggeren	Langs de vaargeulrand	Het effect of baggerwerken langs de vaargeul te evalueren

Tabel 5-7 Aanvullende testen. Kenmerken scenario's

Scenario	Bodemvorm en -hoogte	Volume (M m ³)	Afbeelding in Bijlage D
Sector 1 hoog	Vlak -4m	0.64	Figuur Bijlage D-1:
Sector 1 hoog/breed	Vlak -4m	1.23	Figuur Bijlage D-2
Sectoren 1,2	Vlak -6m	1.94	Figuur Bijlage D-3
Sectoren 2,3	Vlak -6m	2.22	Figuur Bijlage D-4
Uitschuring opvullen	Vlak -8m	0.30	Figuur Bijlage D-5
Punt platmaken	Tot -7m	-0.20 (weggebaggerd)	Figuur Bijlage D-6
Band 2 noord	Vlak -6m	1.48	Figuur Bijlage D-7
Band 2 zuid	Vlak -6m	1.40	Figuur Bijlage D-8
Band 2 hellend	Hellend (-6m)	2.18	Figuur Bijlage D-9
Band 2 hoog/breed	Vlak -4m	3.32	Figuur Bijlage D-10
Band 2 hoog/smal	Vlak -4m	1.36	Figuur Bijlage D-11
Vaargeul	Tot -17 m	-0.98 (weggebaggerd)	Figuur Bijlage D-12

5.3.2 Resultaten

Opnieuw worden de scenario's opgedeeld in scenario's die niet het gewenste effect sorteren en kansrijke scenario's. In Tabel 5-8 duidt de donkere arcering de scenario's aan die een negatief effect hebben. De lichtere arcering naar diegene verwijst die de dwarssnelheid tot 85% (1.19 m/s) reduceren. Voor de scenario's die verder niet onderzocht zullen worden, wordt in Bijlage E de vectorvelden getoond op het tijdstip waarop de maximale dwarssnelheid werd berekend.

Opvallend is opnieuw de aanwezigheid van de tweede neer nabij de noordelijke uitloper van de plaat. Hierop wordt in paragraaf 5.4 verder ingegaan.

De zes kansrijke scenario's van Tabel 5-8 (zonder arcering) leiden tot een reductie van minstens 15% van de maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn. De vectorvelden op het tijdstip waarop de maximale dwarssnelheid werd berekend, worden in Bijlage F getoond.

Uit Tabel 5-8 blijkt het scenario 'band 2' steeds het meest effectief is. Verder verstrekt de rangschikking van de effectieve varianten van band 2 enkele interessante inzichten. Een hogere bodemhoogte blijkt geen garantie te zijn voor een lagere dwarssnelheid (vergelijk 'band 2 hoog/breed' met 'band 2'). Ook draagt de breedte bij aan een afname van de dwarssnelheid (vergelijk 'band 2 hoog/smal' met 'band 2 hoog/breed'). Ten slot is een storting langs de hele plaatrand effectiever dan één langs het noordelijke deel ervan (vergelijk 'band 2' en 'band 2 noord'). Het is interessant op te merken dat 'band 2' en de varianten ervan ertoe

neigen om een milder onderscheid tussen de intergetijde plaat en de verzonken plaat te creëren, wat een aspect van de vroegere bodemligging was (Figuur 2-2).

Uit de twee effectieve varianten op sectorindeling blijkt dat een lagere storting op een grotere deelgebied van de verzonken plaat (sectoren 1 en 2) effectiever is dan één dichtbij het noorden van de plaat hogere storting (sector 1 hoog/uitgebreid).

Tabel 5-8 Aanvullende testen. Waarde van de grootse dwarssnelheden op de groene boeienlijn. Rangschikking volgens afnemende dwarssnelheid

Scenario	Grootte [m/s]	Verhouding scenario/referentie	Volume [Mm ³]	Afbeelding in bijlagen
Band 2	-0.92	66%	1.75	Figuur Bijlage C-7
Punt platmaken	-1.67	120%	-0.2	Figuur Bijlage E-2
Sectoren 2,3	-1.55	112%	2.22	Figuur Bijlage E-3
Sector 1 hoog	-1.51	109%	0.64	Figuur Bijlage E-4
Uitschuring opvullen	-1.51	109%	0.3	Figuur Bijlage E-5
Band 2 zuid	-1.46	105%	1.4	Figuur Bijlage E-6
Vaargeulrand wegbaggeren	-1.33	96%	-0.98	Figuur Bijlage E-7
Band 2 hoog/smal	-1.15	83%	1.36	Figuur Bijlage F-2
Band 2 noord	-1.13	81%	1.48	Figuur Bijlage F-3
Sector 1 hoog/uitgebreid	-1.11	80%	1.23	Figuur Bijlage F-4
Band 2 (hellend)	-1.06	76%	2.18	Figuur Bijlage F-5
Sectoren 1,2	-1.05	76%	1.94	Figuur Bijlage F-6
Band 2 hoog/breed	-0.97	70%	3.32	Figuur Bijlage F-7

5.4 NEERVORMING IN DETAIL

Uit bovenstaande analyses blijkt dat het meest effectieve scenario 'band 2' is. Om de effectiviteit van deze maatregel te verduidelijken, worden daarom de referentiesituatie (ongewijzigde bathymetrie) en dit scenario in wat meer detail hieronder beschreven.

Figuur Bijlage G-1 tot en met Figuur Bijlage G-5 in Bijlage G laten vijf belangrijke tijdstippen zien gedurende de ontwikkeling van neren met de bestaande bathymetrie van 2011:

- Ten eerste om ongeveer 15u15 ontstaat neer A die zich later opwaarts verplaatst (Figuur Bijlage G-1). Aan de ene zijde van de neer ontstaat een zwakke afwaartse stroom langs de plaatrand terwijl de plaat nog steeds droog is. Kleine hellingen in de

waterstand kunnen deze tegenstroming veroorzaken, bijvoorbeeld omwille van de stroomluwe zone bij het punt van de plaat. Aan de andere zijde van de neer wordt de draaibeweging op gang gehouden door de vloedstroming in de vaargeul. Neer A draait dus met de klok mee. In deze fase is de waterstand bij Hansweert hoger dan bij Walsoorden (vloed in het Zuidergat).

- Daarna is de draaibewegingen van neer A verder verstrekt door de tegenstroming die na het onderlopen van de Plaat van Ossenissee toeneemt (Figuur Bijlage G-2, die 15u45 betreft). Merk op dat deze tegenstroming uit de Schaar van Ossenissee lijkt te komen.
- Om ongeveer 16u00, als neer A zich naar het oosten verplaatst, ontstaat een tweede neer B die ook door dezelfde tegenstroming op gang wordt gehouden (Figuur Bijlage G-3). Op te merken is dat, in tegenstelling tot neer A, neer B tegen de klok draait, waardoor neer B door de stroomrichting langs de vaargeul wordt afgeremd op zijn noordelijke rand. Dit gebeurt kort na de waterstand bij Walsoorden hoger is geworden dan bij Hansweert (eb in het Zuidergat). Hoe dan wel vanwege de traagheid van het water, is de stroomrichting steeds opwaarts.
- Later rond 16u30 breekt de noordelijke zijde van neer B af en ontstaat er een derde neer C bij het punt van de plaatrand (Figuur Bijlage G-4). Neer C wordt door de vloedstroom op gang gehouden en draait met de klok mee. Tegelijkertijd beweegt neer A opwaarts met een duidelijk uitgebreid cirkelvormig stroompatroon dat de vaargeul begint te beïnvloeden.
- De laatste afbeelding laat zien dat intensieve dwarsnelheden optreden wanneer rond kentering neer A verder naar het midden van de vaargeul beweegt (Figuur Bijlage G-5). Inmiddels beweegt neer C verder van de plaat af en stroomafwaarts. Dit gebeurt ongeveer rond 16u45. Vervolgens worden tijdens eb beide neren stroomafwaarts geduwd en nemen in kracht af. (hier niet getoond).

In tegenstelling tot bovenstaande, tonen Figuur Bijlage H-1 tot en met Figuur Bijlage H-5 in Bijlage H de gelijkaardige momenten in de neervorming met de veranderde bathymetrie van scenario 'band 2'. Deze treden ongeveer rond dezelfde tijdstippen op als in de situatie met ongewijzigde bathymetrie. Bovendien worden de waterstanden bij Hansweert en Walsoorden niet aanzienlijk beïnvloed door de bodemverandering op de verzonken plaat (niet getoond).

- In het begin van de neervorming (ongeveer 15u15) ook hier ontstaat neer A door een tegenstroming langs het noordelijke deel van de verzonken plaatrand (Figuur Bijlage H-1). De ondiepere bodemhoogte zorgt voor meer weerstand die tegen de stroming wordt uitgeoefend.
- Figuur Bijlage H-2 (15u45) toont het onderlopen van de Plaat van Ossenissee. De tegenstroming langs de plaatrand is zwakker dan in de referentiesituatie.
- Rond 16u valt een aanzienlijk verschil met de ongewijzigde situatie op. Als neer A zich naar het oosten verplaatst, worden de neren B en C gelijktijdig gevormd. Neer B die tegen de klok draait, zit tussen neren A en C die met de klok mee draait. Gezien neer B achter de twee andere ligt, is deze samenstelling stabiel omdat alle aanliggende stroom- en draairichtingen dezelfde zijn (Figuur Bijlage H-3).

- Veder rond 16u30, als neer A de opwaartse stroomrichting volgt, wordt de achterliggende neer B gedempt door de plaatrand, terwijl neer C verder van het punt van de plaat af beweegt, omwille van de afnemende kracht van de vloedstroom (Figuur Bijlage H-4).
- Ten slotte, toont Figuur Bijlage H-5 de situatie op hetzelfde tijdstip als in Figuur Bijlage G-5 betreffende de referentiesituatie: neer A ligt nog steeds aan de rand van de vaargeul en neer C ligt dicht bij het midden van de vaargeul. Omdat neer A zwakker is geworden, kan de ebstroom nu verder langs de plaatrand lopen en het gedrag van neer C beïnvloeden. Kort daarna worden beide neren stroomafwaarts geduwd en gedempt door de ebstroom.

5.5 EVALUATIE RESULTATEN

De simulaties geven dus aan dat op de verzonken Plaat van Ossensisse het ontstaan van beide neren A en C het resultaat is van één enkel proces.

De opwaartse neer (A) was het aandachtspunt in Decrop et al. (2009) en Verheyen et al. (2011). Strikt genomen, is de afwaartse beweging van neer C minder aanzienlijk gedurende de vloedfase – voor een groot deel van zijn levensduur beweegt neer C uit de stroomluwe zone naar de vaargeul toe.

Tabel 5-9 geeft de maximale dwarssnelheden van de twee neren apart weer voor de zeven meest effectieve scenario's. Het scheidingpunt tussen de twee neren ligt ongeveer ter hoogte van Boei 49.

Uit Tabel 5-9 blijkt dat de kritische snelheid voor alle scenario's wordt veroorzaakt door de afwaartse neer C. Alle scenario's vertonen een afname van de opwaartse neer A, maar tegelijkertijd ook een toename van de afwaartse neer C. De veiligheid van de scheepvaart langs de geul wordt in ieder geval verbeterd, omdat de toename bij de afwaarts bewegende neer kleiner is dan de afname bij de opwaartse neer. Uit analyse van de uitgesloten scenario's blijkt dat hier veelal juist de opwaartse neer A beperkend is.

Tabel 5-9 Effectieve scenario's. Maximale dwarssnelheden van de opwaartse en afwaartse neer (met tijdstip). Positief richting de plaatrand, negatief richting de vaargeul.

	Opwaartse neer (A)		Afwartse neer (C)	
Referentie	-1.39 16u35	0.82 17u06	-0.76 17u10	0.56 17u29
Band 2 hoog/smal	-0.93 16u23	0.63 16u41	-1.15 17u12	0.68 17u20
Band 2 noord	-0.93 16u20	0.60 16u49	-1.13 17u56	0.68 16u59
Sector 1 hoog/uitgebreid	-1.10 16u27	0.74 16u51	-1.11 18u09	0.67 17u12
Band 2 (hellend)	-0.86 16u26	0.52 17u40	-1.06 17u06	0.58 17u54
Sectoren 1,2	-0.76 16u10	0.56 17u23	-1.05 17u04	0.64 16u52
Band 2 hoog/breed	-0.70 16u27	0.56 17u39	-0.97 16u48	0.51 17u49
Band 2	-0.72 16u27	0.54 16u55	-0.92 16u35	0.54 16u50

De recente evolutie van de bodem is mogelijk gerelateerd aan de aanwezigheid van de tweetal neren A en C. Uit Figuur 2-4 blijkt dat de plaatrand continu, sinds de jaren '90, erosie ondergaat, wat inderdaad een gevolg van de tegenstroming over de plaatrand zou kunnen zijn. Ook treed sedimentatie bij de vaargeulrand op de typische posities van de ogen van beide neren. In het neeroog is de waterstand het laagst, wat kan secundaire stromingen langs de bodem in de richting van het centrum aansturen. Verder zijn de snelheden daar ook het kleinst, wat de afzetting van sedimenten in suspensie kan bevorderen. Ook al moet deze stelling door specifiek onderzoek bevestigd worden, toch gelden deze opmerkingen als indicatie dat de neren ook een rol spelen in de interne distributie van de sedimenten op de Plaat van Ossensisse.

De huidige simulaties tonen op zijn minst een aantal aspecten aan die zeker relevant zijn voor de neervorming. Het is aannemelijk dat de toenemende kracht van de neren rond de Plaat van Ossensisse, het steiler worden van de plaatrand, het dieper worden van de uitschuring en de beweging van de vaargeulrand naar het oosten met elkaar in verband kunnen gebracht worden.

5.6 BESCHIKBAARHEID SEDIMENTEN

Voor het meest effectieve scenario 'band 2' zou een in-situ volume van circa 1,75 Mm³ sediment nodig zijn.

Tabel 5-10 geeft een overzicht van de laatste 3 jaar onderhoudsactiviteiten weer gebaseerd op de maandelijkse rapportage door IMDC geproduceerd in het kader van het programma Flexibel Storten. Uit deze hoeveelheden blijkt dat de geanalyseerde maatregelen met supplementen uit de onderhoudsbaggerwerken zouden kunnen uitgevoerd worden.

Tabel 5-10 Volume sedimenten van de onderhoud in bijliggende locaties (miljoenen m³)

Locatie	2010	2011	2012	Totaal	Gemiddelde
Drempel van Hansweert	1.26	2.08	2.07	5.40	1.80
Overloop Hansweert	0.10	0.47	0.65	1.23	0.41
Overloop van Valkenisse	0.19	1.11	1.43	2.73	0.91
Alle	1.55	3.66	4.15	9.36	3.12

6. ALGEMENE CONCLUSIES

Deze studie onderzocht of de veiligheid voor de scheepvaart in het Zuidergat kan verbeterd worden. Door op de verzonken Plaat van Ossenissee op een strategische locatie een suppletie uit te voeren, kunnen de tijdens springvloed en ebvloed zich ontwikkelende neren en daaruit volgende dwarsstromingen gereduceerd worden.

Hiervoor zijn achttien alternatieve scenario's onderzocht. Veranderingen aan de bodemligging van de verzonken plaat aan de oostzijde van de Plaat van Ossenissee werd voorzien door middel van een fictieve suppletie. Hiervoor zou zand afkomstig uit de onderhoudsbaggerwerken gebruikt kunnen worden. Ook zijn er twee scenario's met wegbaggeren beschouwd. Numerieke simulaties met het NEVLA model zijn uitgevoerd om het effect van de interventies te evalueren.

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Op de verzonken Plaat van Ossenissee is er sprake van een complex proces waardoor een tweetal neren worden gegenereerd, beiden met invloed op de snelheden dwars door de vaargeul. De ene neer beweegt opwaarts langs het Zuidergat, de andere afwaarts vanuit het punt van de plaat tegenover Hansweert. (In 2005 was de opwaarts bewegende neer verantwoordelijk voor de stranding van het Foiwaret). De vloedstromingen op het gebied veroorzaken de vorming van cirkelvormige stroompatronen.
- De ontwikkeling daarvan is het resultaat van de daaropvolgende interactie tussen de vloed- en ebstromingen. Uit deze analyse is gebleken dat de toenemende kracht van de neren op de verzonken plaat, het dieper worden van de uitschuring daarop, het steiler worden van de plaatrand en de onderhoudsbaggerwerken in de Overloop van Hansweert in verband kunnen worden gebracht. Het lijkt mogelijk dat de neren een actieve rol spelen in de interne redistributie van de sedimenten in het gebied.
- De meest effectieve scenario's hebben betrekking op het verhogen van de verzonken plaat in een strook grenzend aan de plaatrand. In het bijzonder werd één scenario als meest optimale geïdentificeerd. Dit scenario betreft de bodemverhoging langs de plaatrand tot -6 m op een geschatte oppervlakte van 90 ha en met een stortingsvolume van 1.75 Mm³. In dit geval tonen de simulaties aan dat de maximale dwarssnelheden langs de groene boeienlijn tot 66% gereduceerd kunnen worden (van 1.4 tot 0.9 m/s).
- Na dit onderzoek blijkt het belangrijk om de aanwezigheid van de tweetal neren te in verdere studies, die hetzij de morfologische evolutie hetzij de vaartveiligheid rond de Plaat van Ossenissee betreffen, na te gaan.

7. REFERENTIES

7.1 INTERNETBRONNEN

Rijkswaterstaat, Vaklodingen:

<http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/catalog.html>

Rijkswaterstaat, Hydro en Meteo Centrum Zeeland:

http://www.hmcz.nl/nl/water-en-weer_dataleveringen_ophalen-opgetreden-data.htm

7.2 RAPPORTEN

Decrop B., De Clercq B., Vanlede J., Van Holland G., Ides S., Plancke Y., De Mulder T. en Mostaert F. (2009). WL Rapporten 753_07. Dwarsstromingen Ossensisse-Zuidergat – rapport numeriek modelonderzoek. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/09.009/BDC, Antwerpen, België.

IMDC (2010a). Monitoringprogramma flexibel storten. Methodologie maandelijkse rapportage (I/RA/11353/10.030/RDS).

IMDC (2010b). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage februari-maart 2010 (I/RA/11353/10.031/RDS).

IMDC (2010c). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage april 2010 (I/RA/11353/10.052/RDS).

IMDC (2010d). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage mei 2010 (I/RA/11353/10.069/RDS).

IMDC (2010e). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage juni 2010 (I/RA/11353/10.116/JCA).

IMDC (2010f). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage juli 2010 (I/RA/11353/10.125/JCA).

IMDC (2010g). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage augustus 2010 (I/RA/11353/10.139/JDW).

IMDC (2010h). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage september 2010 (I/RA/11353/10.147/JDW).

IMDC (2010i). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage oktober 2010 (I/RA/11353/10.173/JDW).

IMDC (2010j). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage november-december 2010 (I/RA/11353/10.199/JDW).

IMDC (2011a). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage januari-februari 2011 (I/RA/11353/11.015/JDW).

IMDC (2011b). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage maart-april 2011 (I/RA/11353/11.046/SDO).

IMDC (2011c). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage mei-juni 2011 (I/RA/11353/11.077/MIM).

IMDC (2011d). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage juli-augustus 2011 (I/RA/11353/11.104/DDP).

IMDC (2011e). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage september-oktober 2011 (I/RA/11353/11.137/DDP).

IMDC (2012a). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage november-december 2011 (I/RA/11353/11.182/DDP).

IMDC (2012b). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage januari 2012 (I/RA/11353/12.022/DDP).

IMDC (2012c). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage februari-maart 2012 (I/RA/11353/12.041/DDP).

IMDC (2012d). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage april-mei 2012 (I/RA/11353/12.084/DDP).

IMDC (2012e). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage juni-juli 2012 (I/RA/11353/12.141/DDP).

IMDC (2012f). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage augustus-september 2012 (I/RA/11353/12.154/JMA).

IMDC (2012g). Monitoringprogramma flexibel storten. Maandelijkse rapportage oktober-november 2012 (I/RA/11353/12.264/MGO).

Rijkswaterstaat (2010). SIMONA: User's GuideWAQUA: General Information. Version 10.56, September 2010.

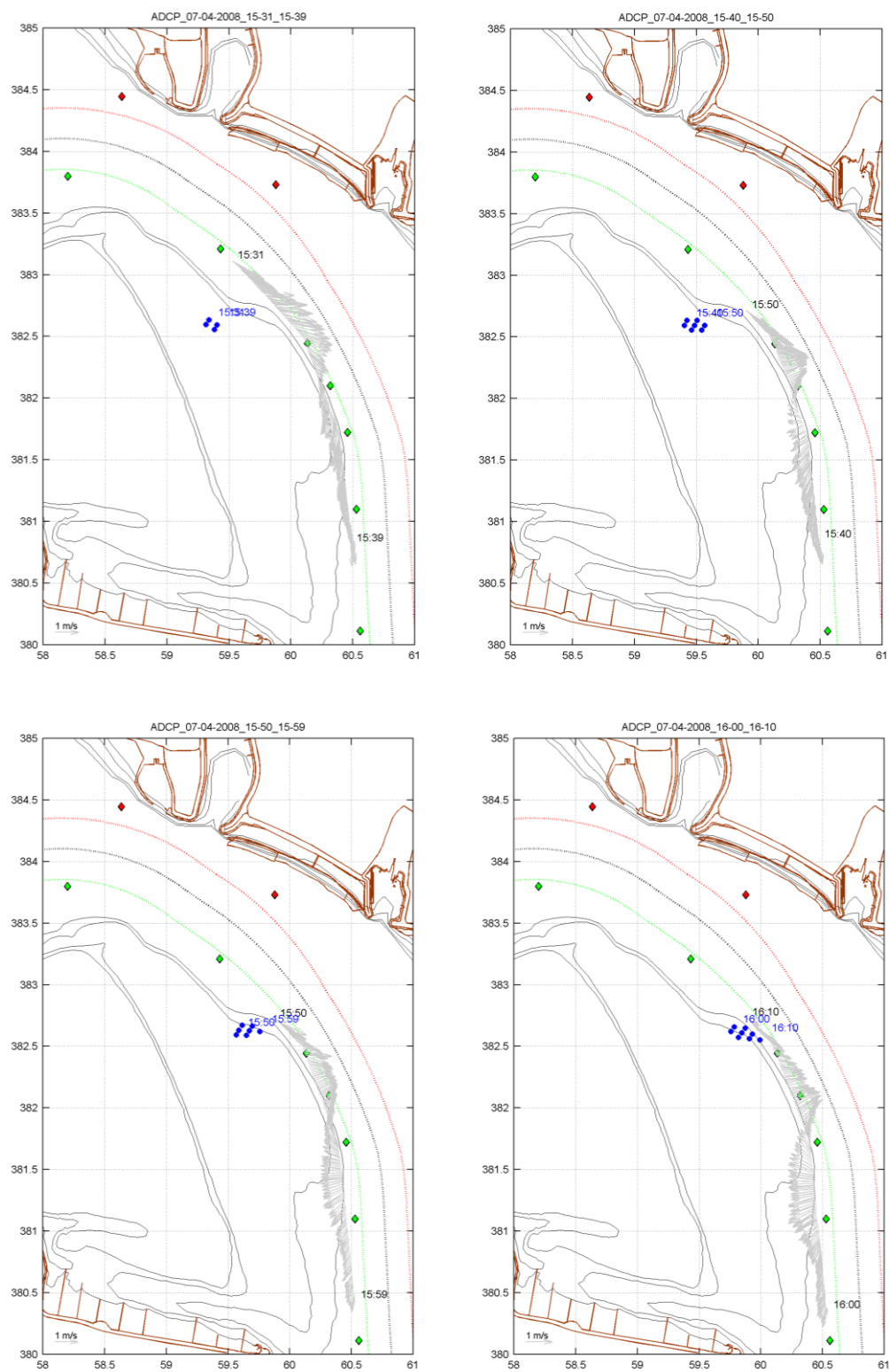
Kolar, V (2007). Vortex identification: new requirements and limitations. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 28:638-652.

Vanlede J., De Clercq B., Decrop B., Ides S., van Holland G., De Mulder T., Mostaert F. (2009). Permanente verbetering modelinstrumentarium. Verbetering Randvoorwaardenmodel. Deelrapport 2: Afregeling van het 2D Scheldemodel. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC. Rapport I/RA/11313/09.012/BOB, Antwerpen, België.

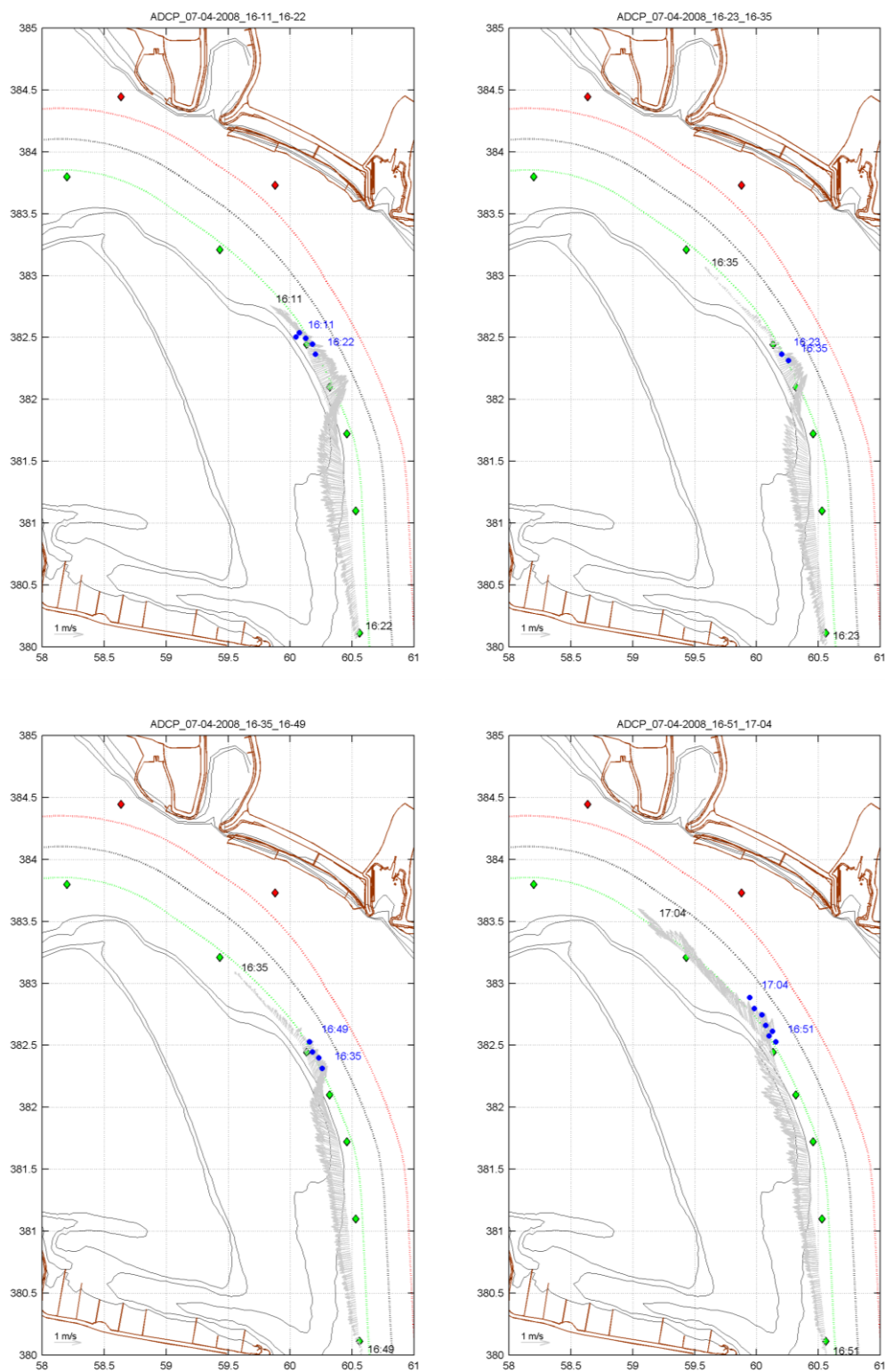
Verheyen B., Vanlede J., Plancke Y. en Mostaert F. (2011). Beheersbaarheid groene boeienrijde: scenario onderzoek met het numeriek instrumentarium voor dwarsstromingen

Ossensisse-Zuidergat. WL Rapporten 753_14. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC
rapport nr. I/RA/11313/11.019/VBA, Antwerpen, België.

Bijlage A Neer 7 april 2008: mobile ADCP metingen in het Zuidergat

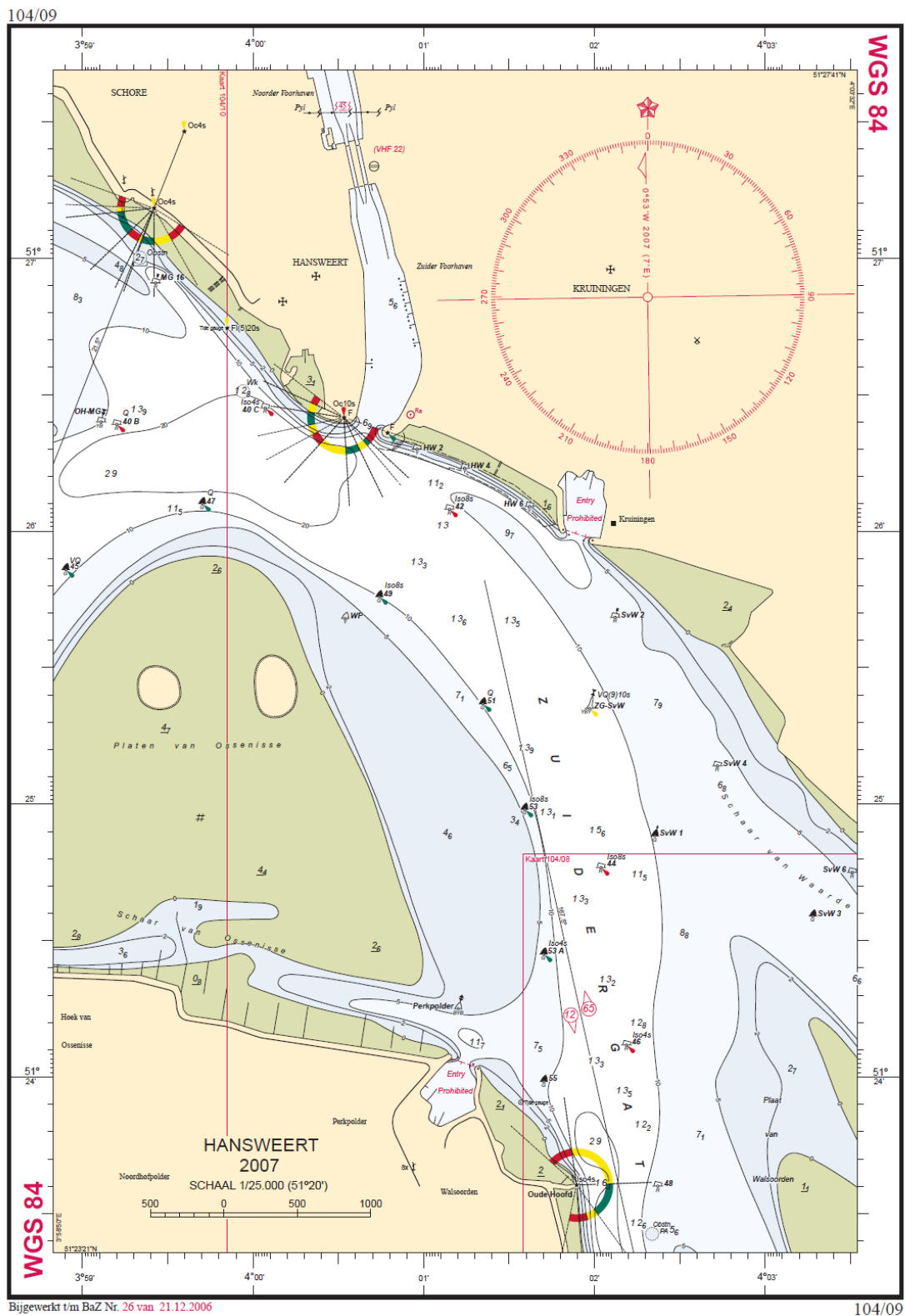


Figuur Bijlage A-1: Dieptegemiddelde stroomvectoren voor de trajecten van 15u31 (versterking van de neer) tot 16u10 (verst opwaartse positie). De blauwe stippen duiden het gesimuleerd neertraject aan.

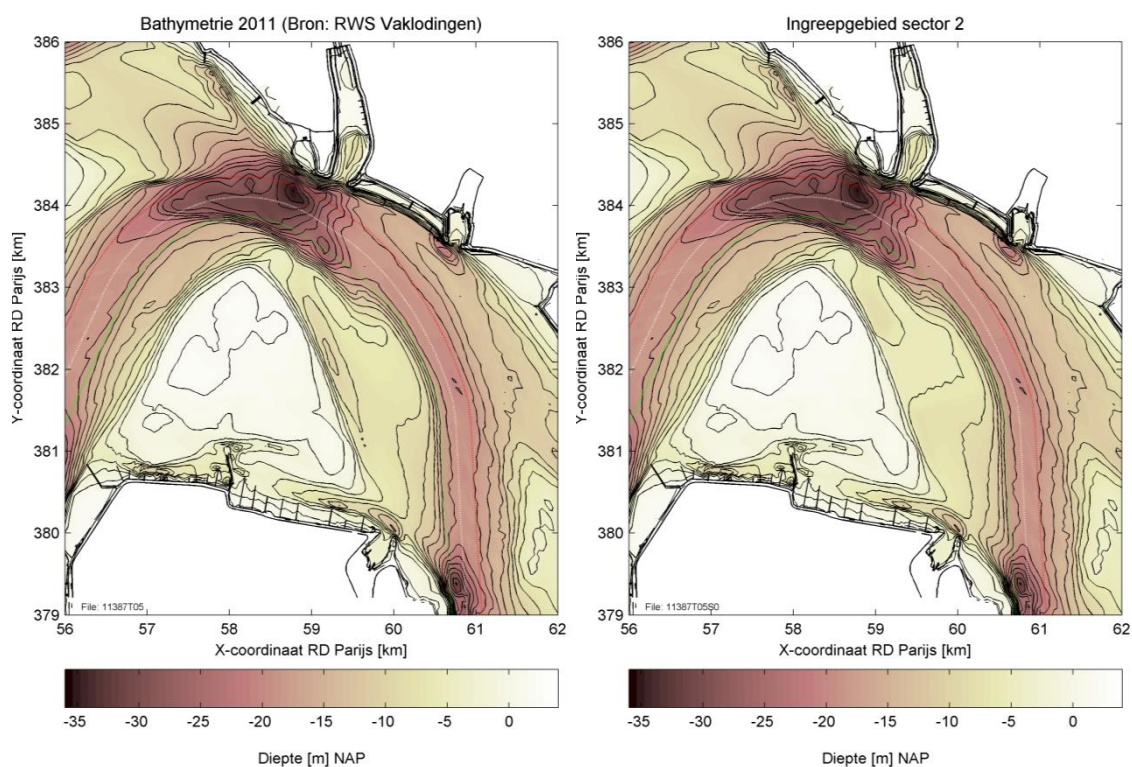


Figuur Bijlage A-2: Dieptegemiddelde stroomvectoren voor de trajecten van 16u30 (verst opwaartse positie) tot 16u10 (einde metingen). De blauwe stippen duiden het gesimuleerd neertraject aan.

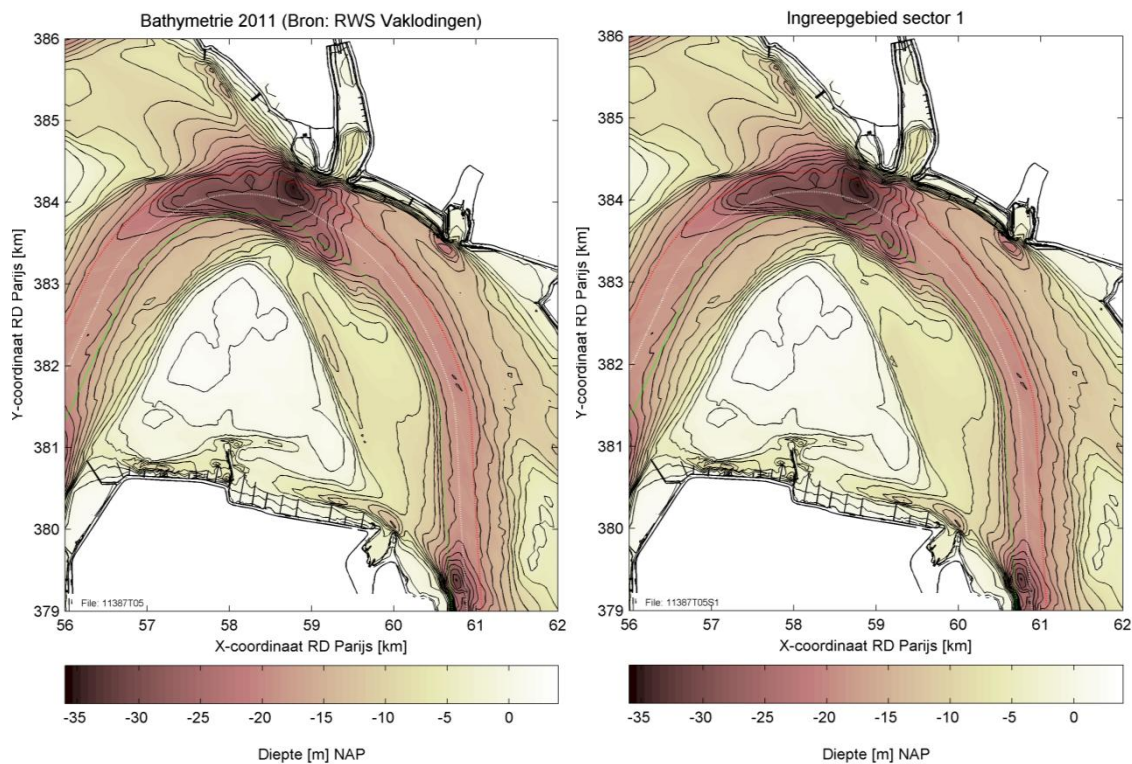
Bijlage B Eerste analyse: bodems



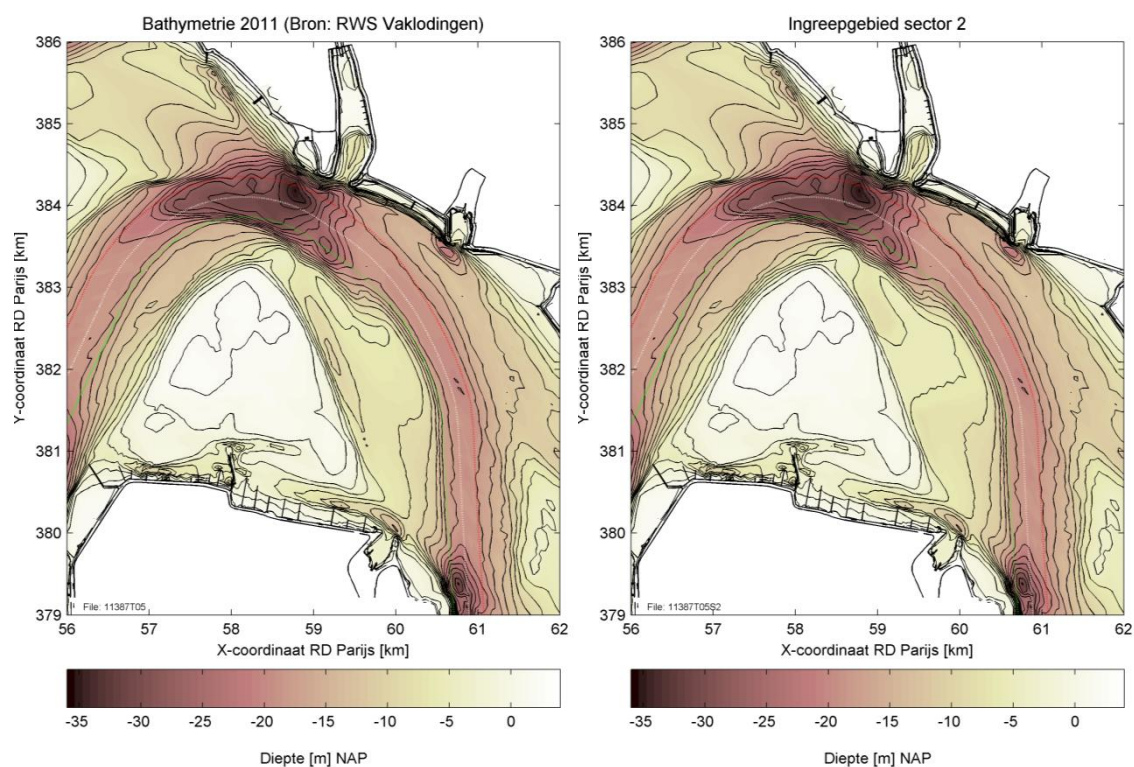
Figuur Bijlage B-1: Nautische kaart Hansweert (2007)



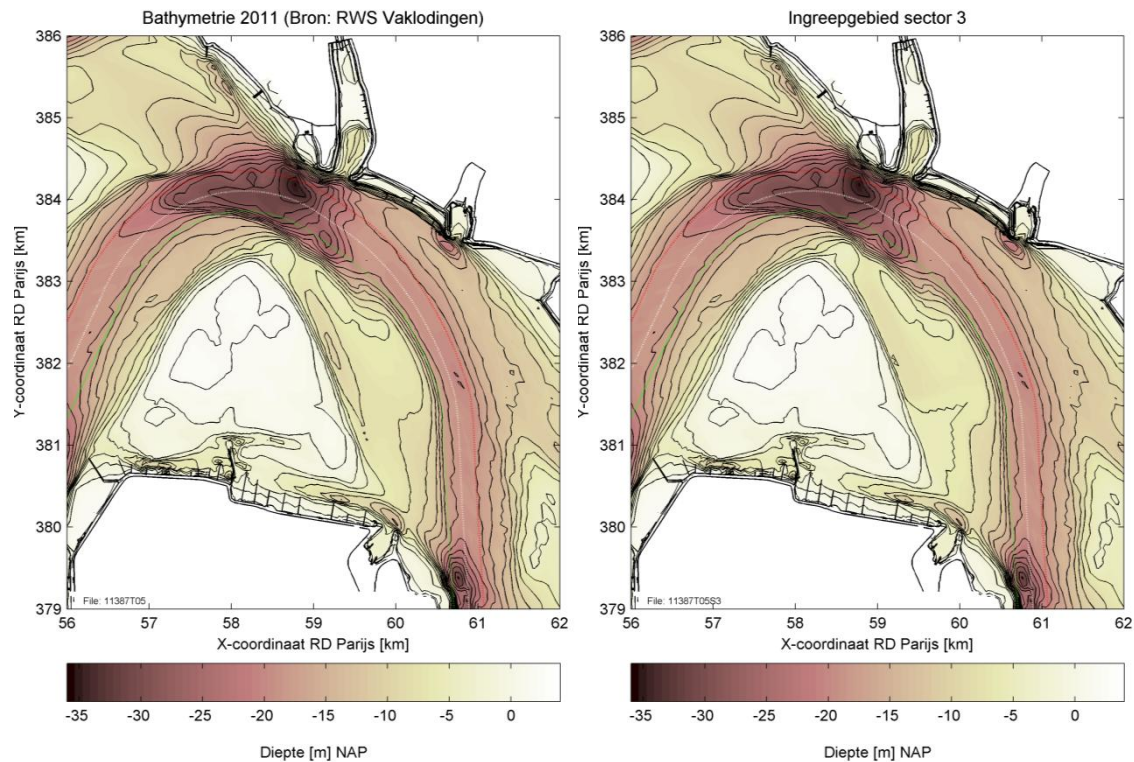
Figuur Bijlage B-2 Scenario sectoren 1, 2, 3.



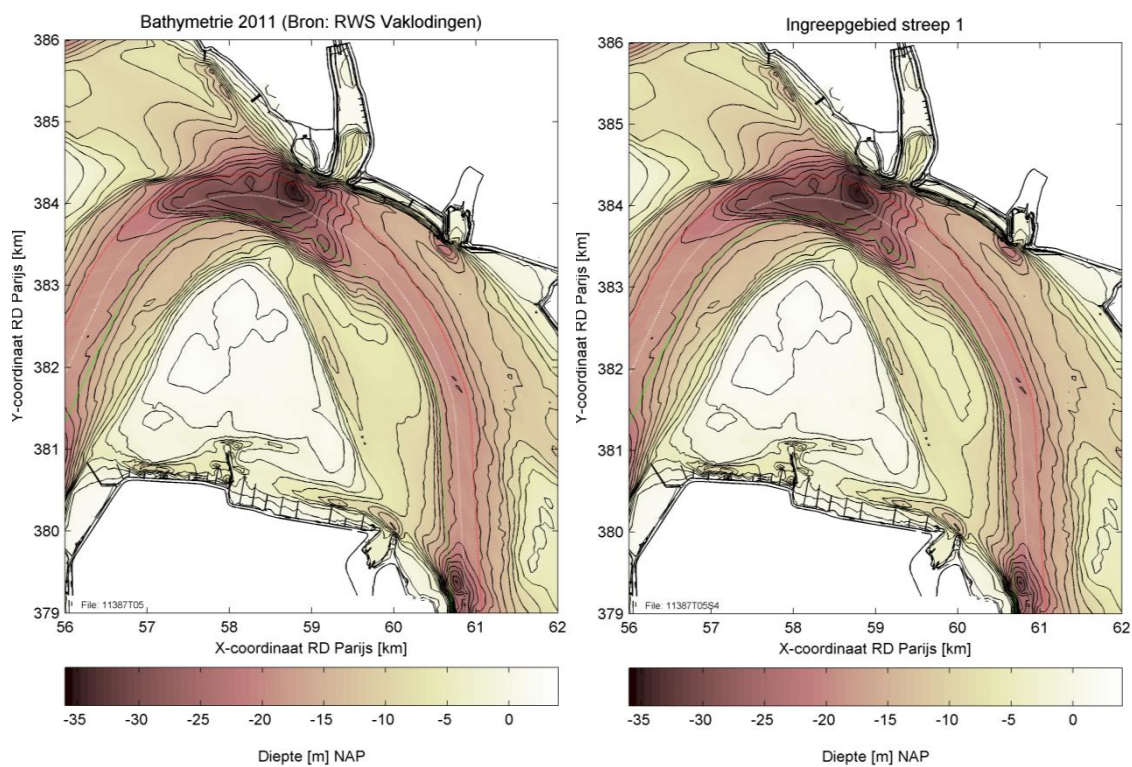
Figuur Bijlage B-3: Scenario sector 1.



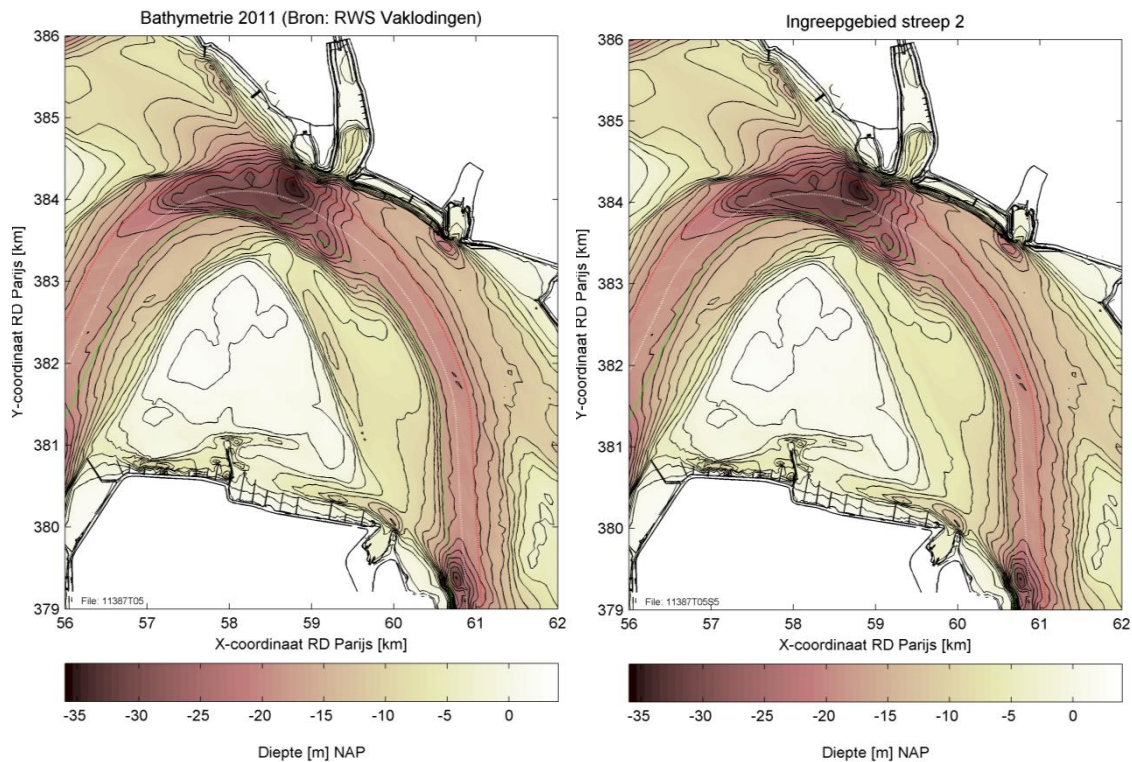
Figuur Bijlage B-4 Scenario sector 2.



Figuur Bijlage B-5: Scenario sector 3.

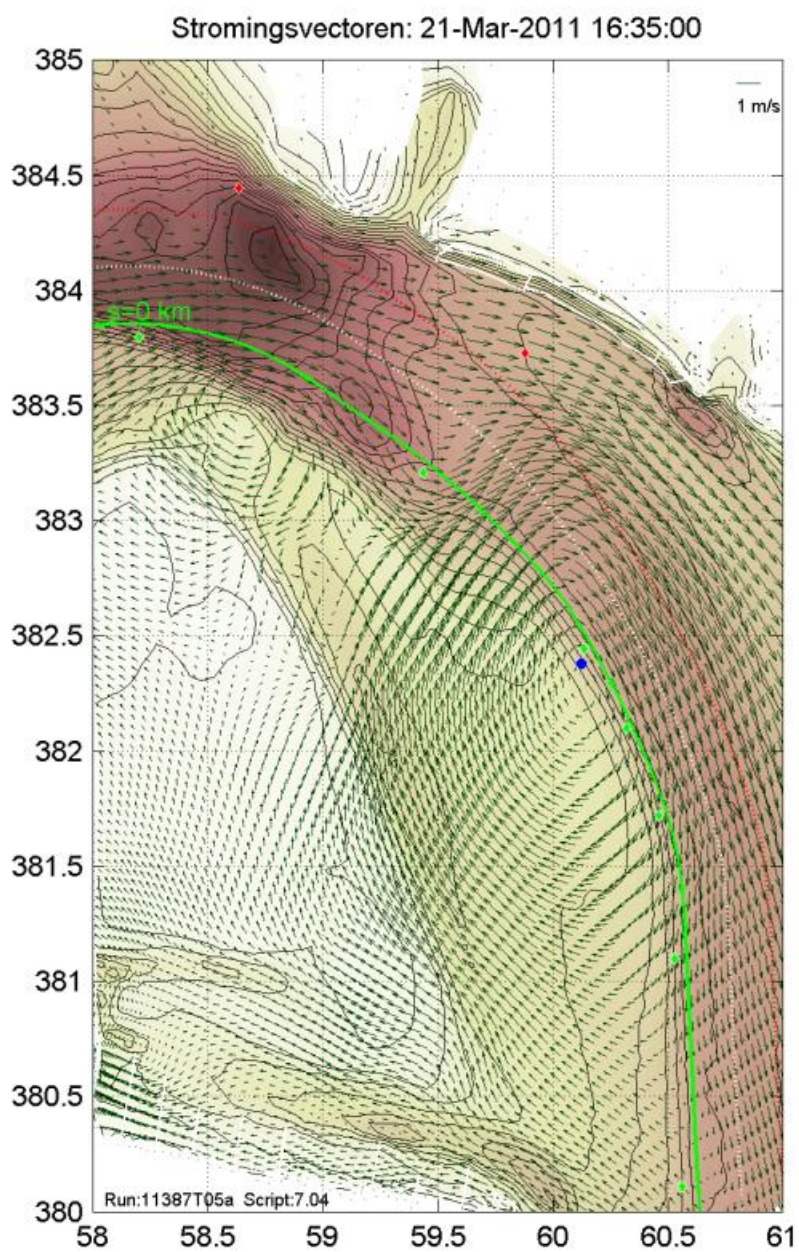


Figuur Bijlage B-6 Scenario band 1.

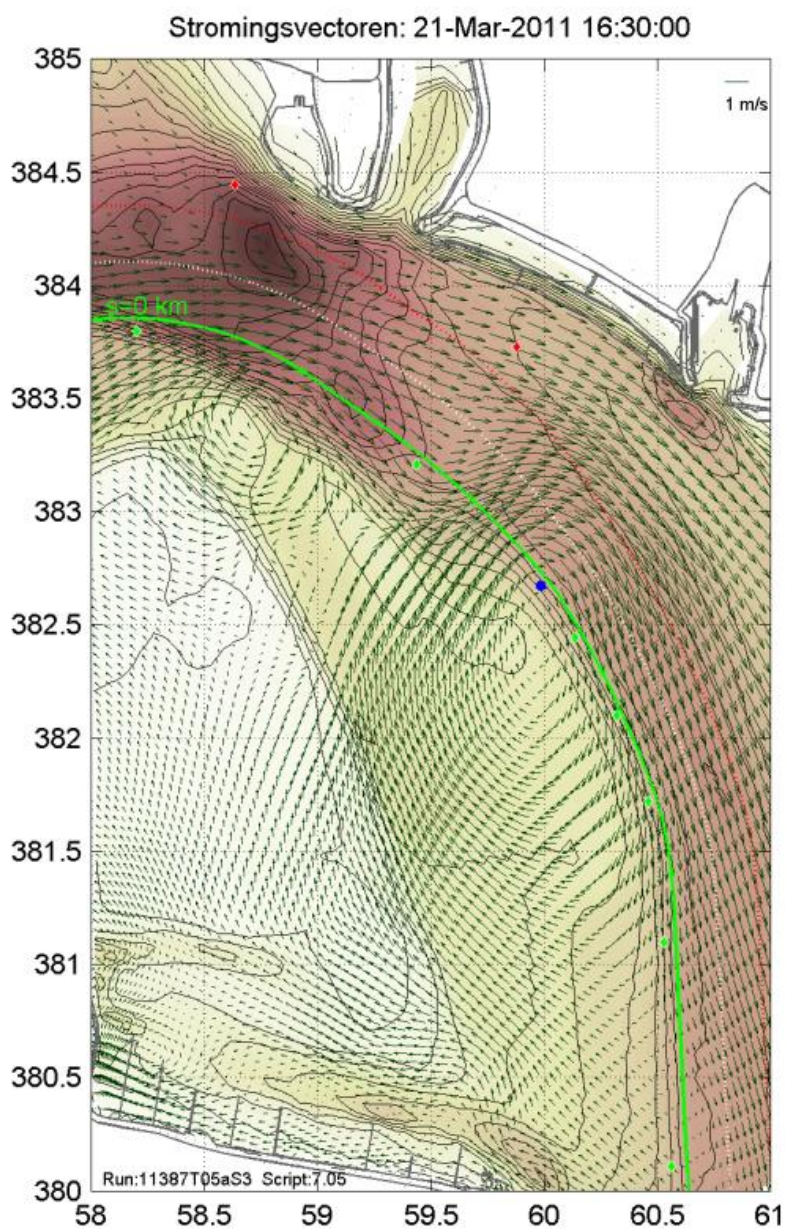


Figuur Bijlage B-7: Scenario band 2.

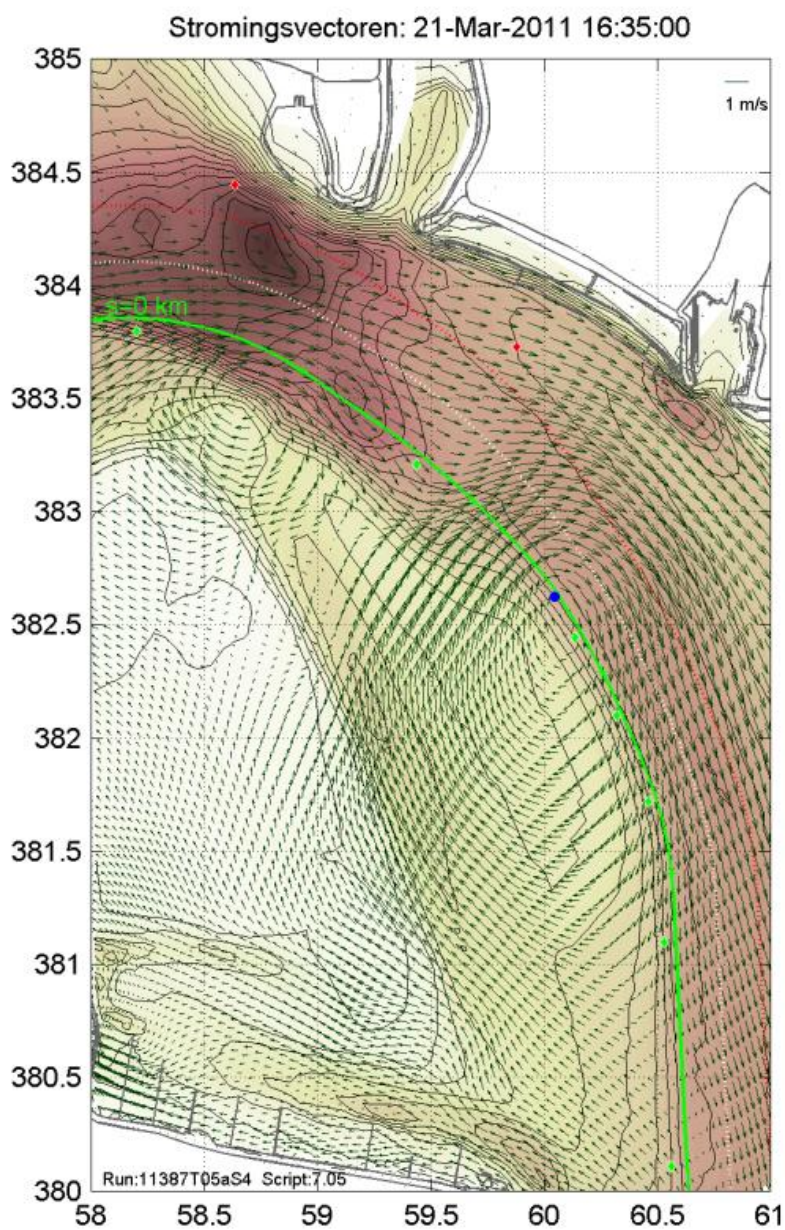
Bijlage C Verkennende berekeningen: stromingsvelden alle scenario's



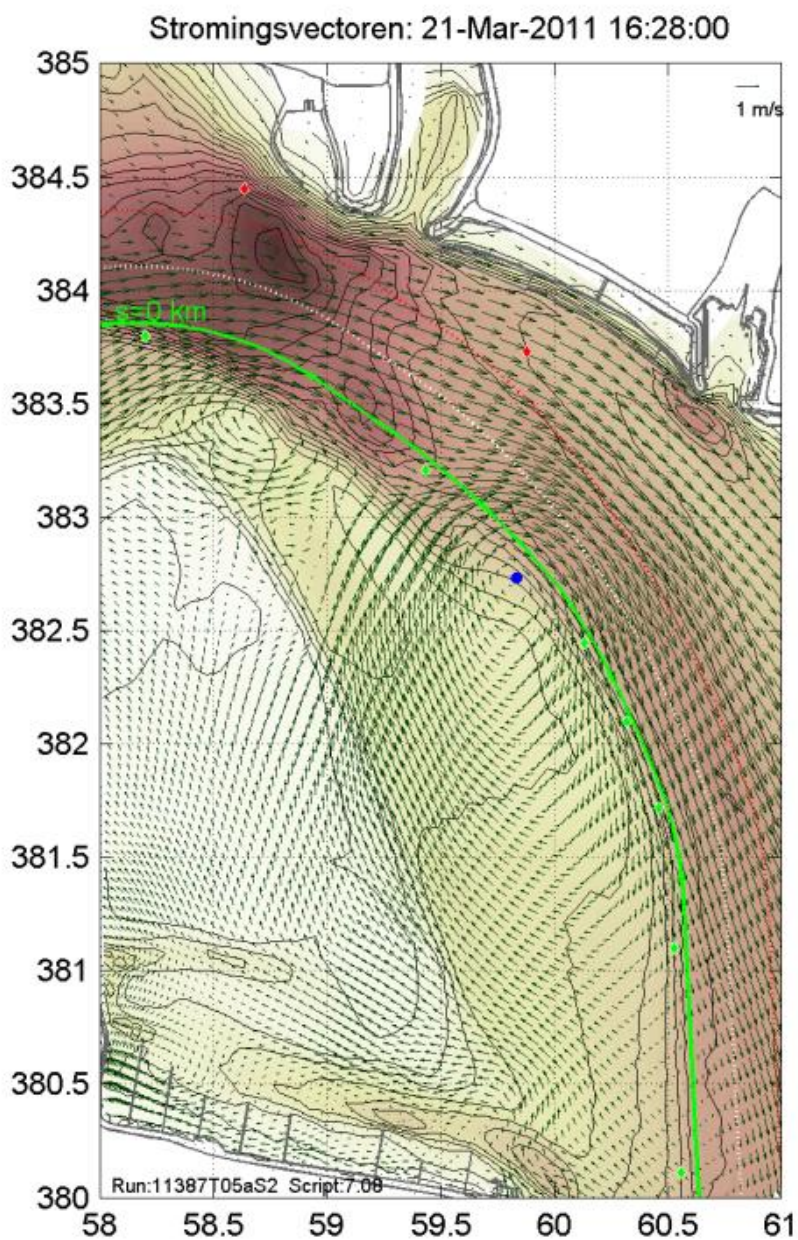
Figuur Bijlage C-1: Referentiesimulatie: ongewijzigde bathymetrie. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: 1.39 m/s.



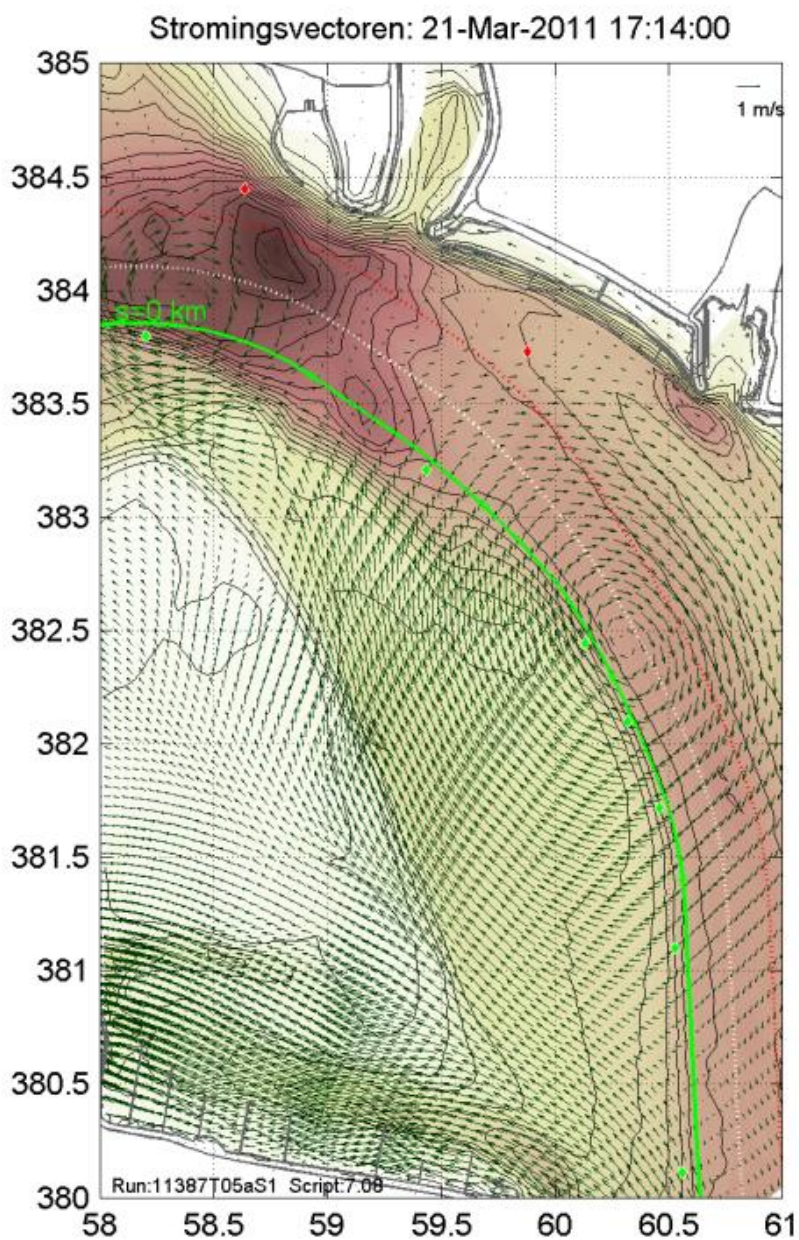
Figuur Bijlage C-2: Scenario verhoging sector 3 tot -6m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.53 m/s.



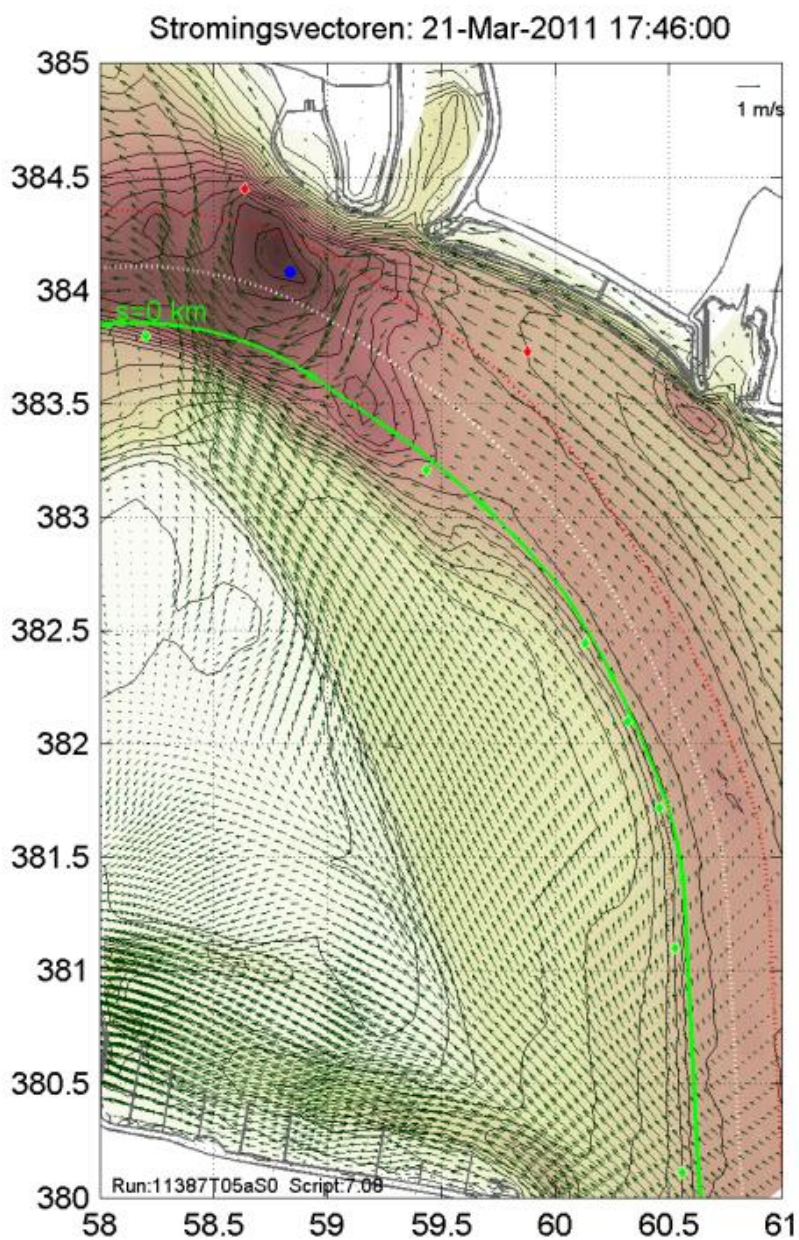
Figuur Bijlage C-3: Scenario verhoging band 1 tot -6m. Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: -1.39 m/s.



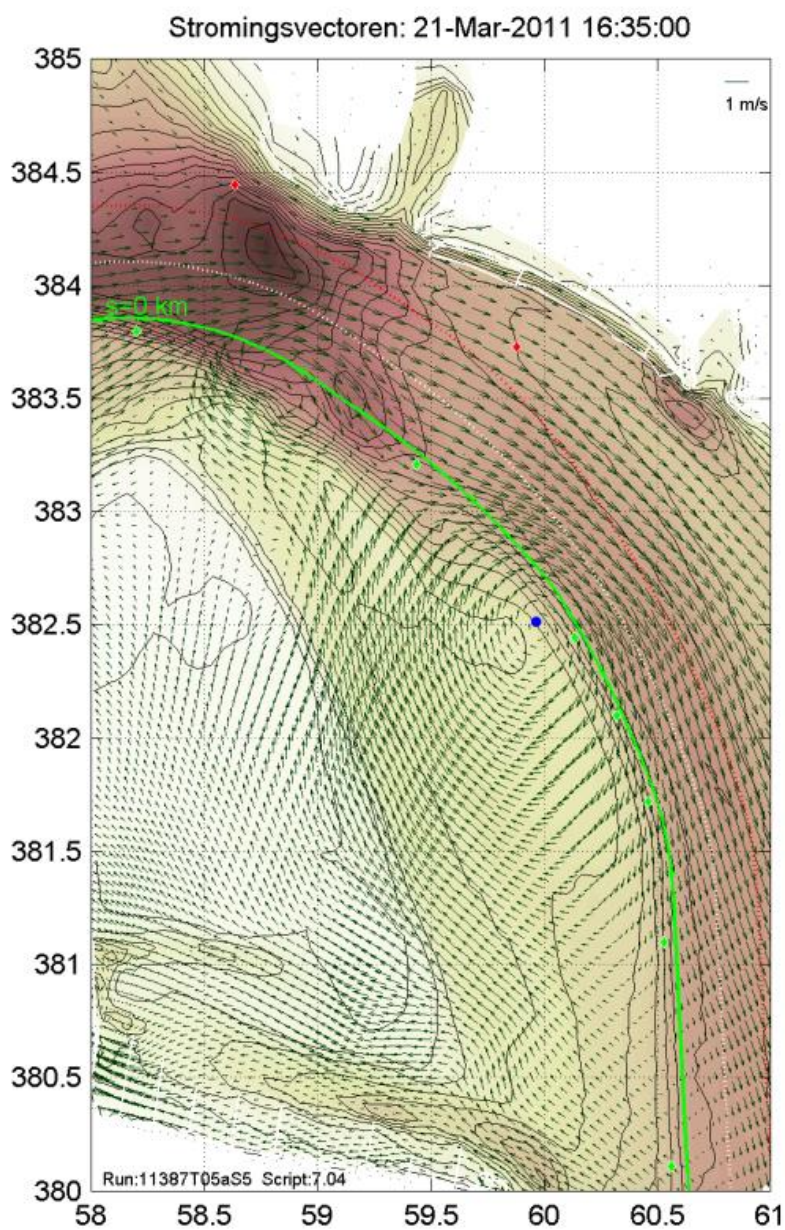
Figuur Bijlage C-4: Scenario verhoging sector 2 tot -6m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.21 m/s.



Figuur Bijlage C-5: Scenario verhoging sector 1 tot -6m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.20 m/s.

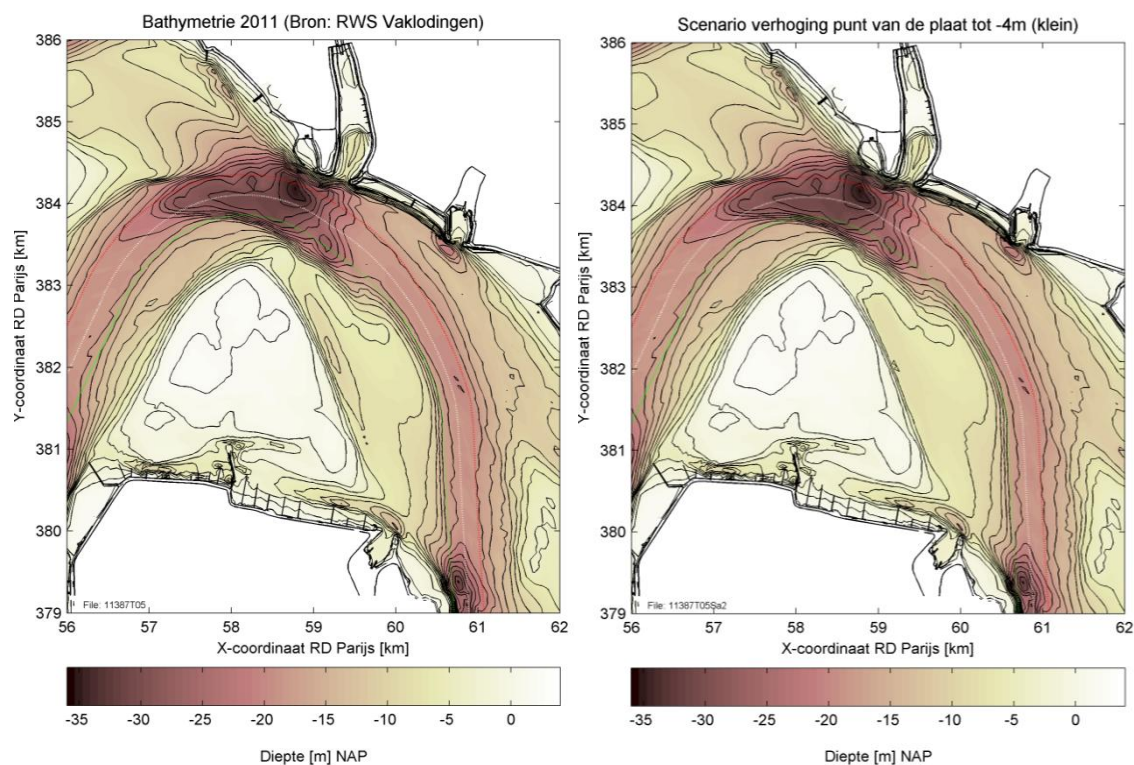


Figuur Bijlage C-6: Scenario verhoging alle sectoren tot -6m. Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: -1.19 m/s.

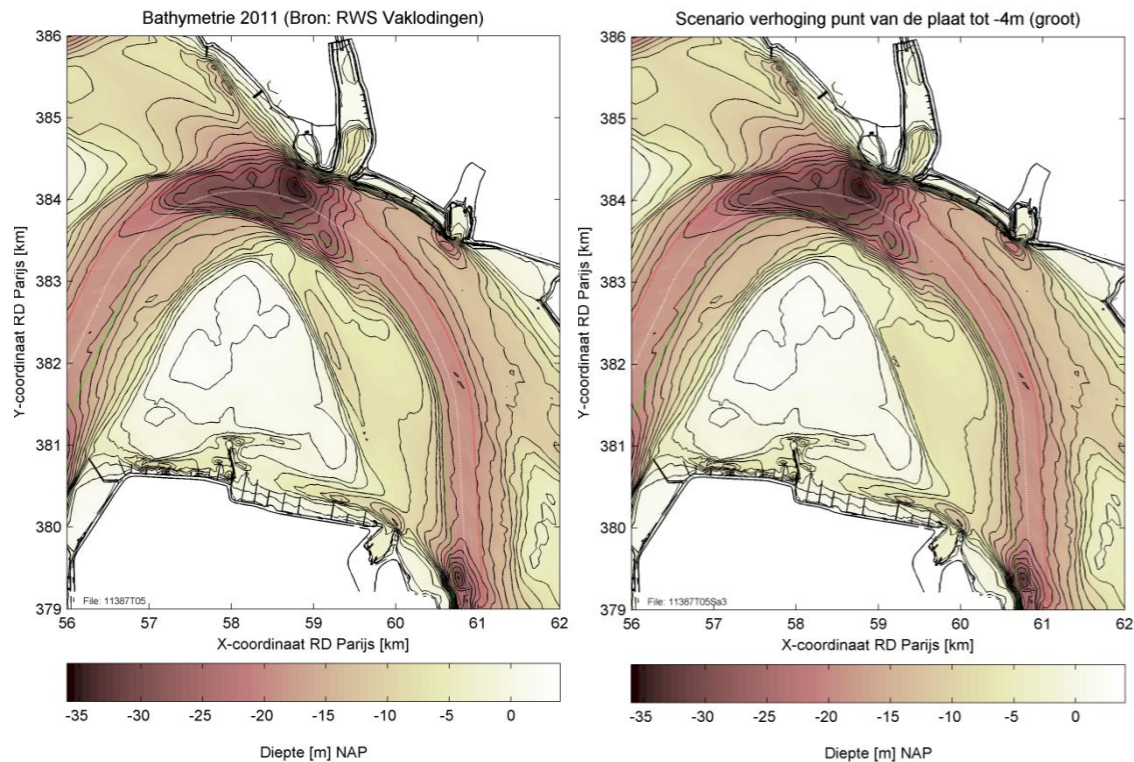


Figuur Bijlage C-7: Scenario verhoging band 2 tot -6m. Maximale dwarssnelheid: -0.92 m/s.

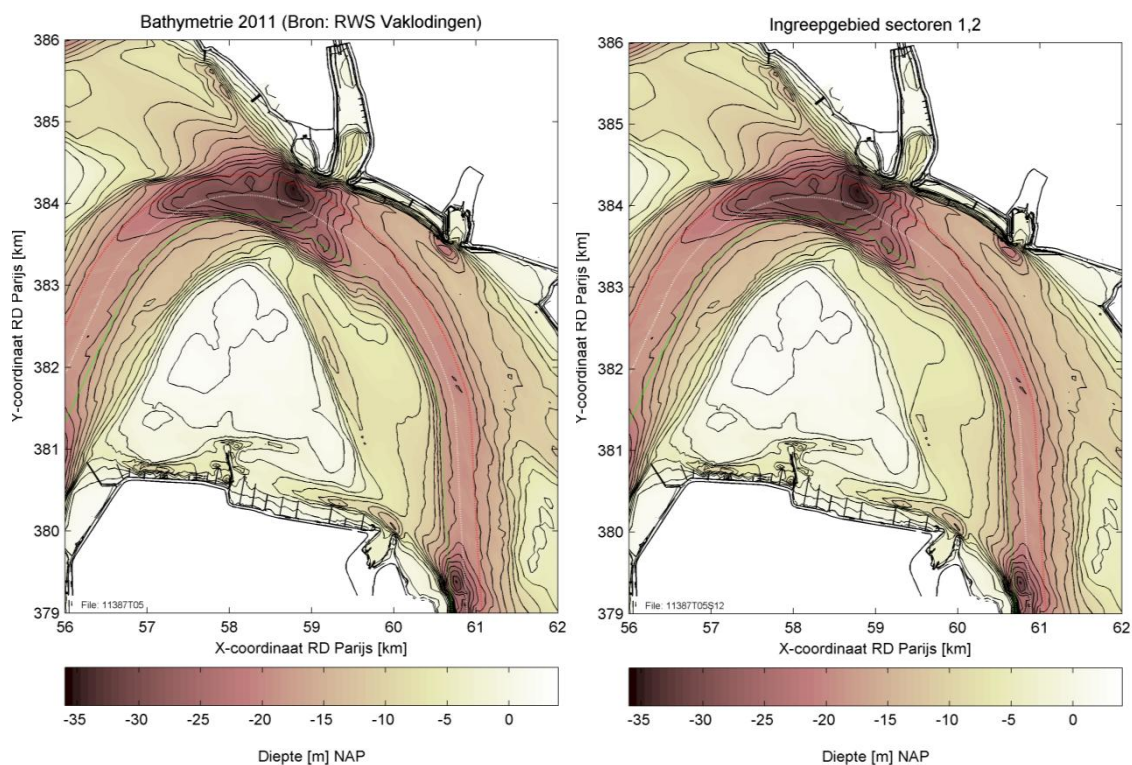
Bijlage D Aanvullende testen: bodems



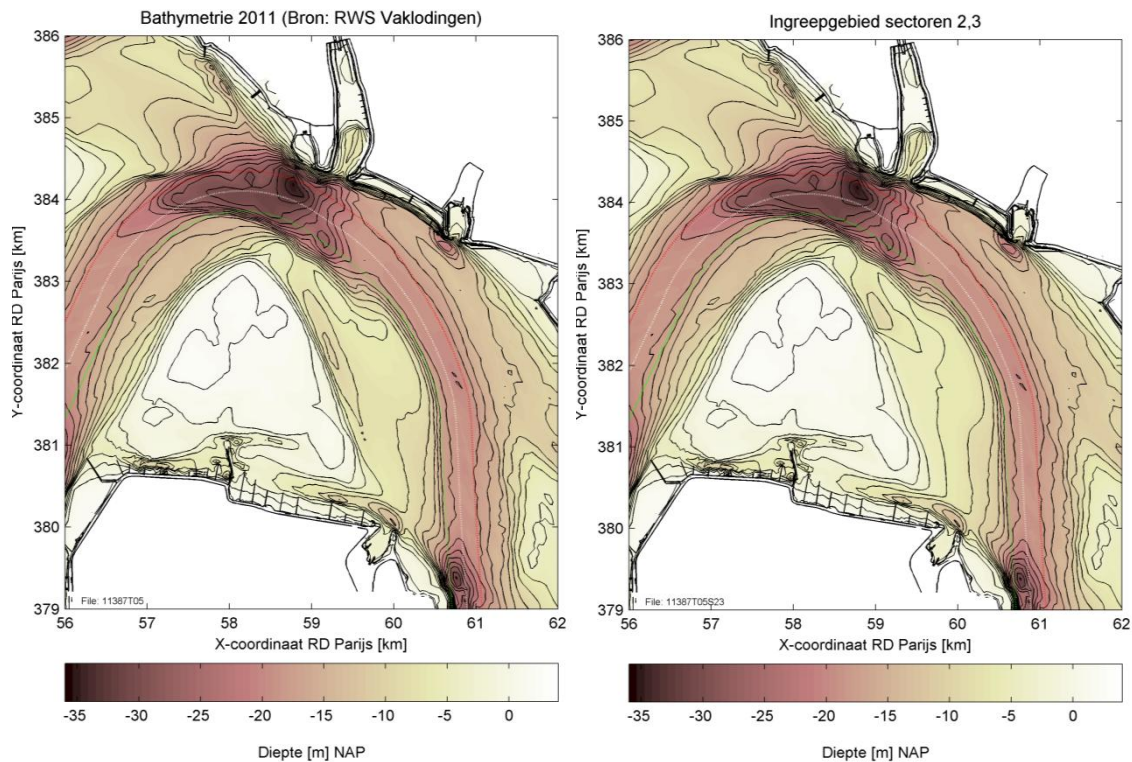
Figuur Bijlage D-1: Scenario sector 1 hoog.



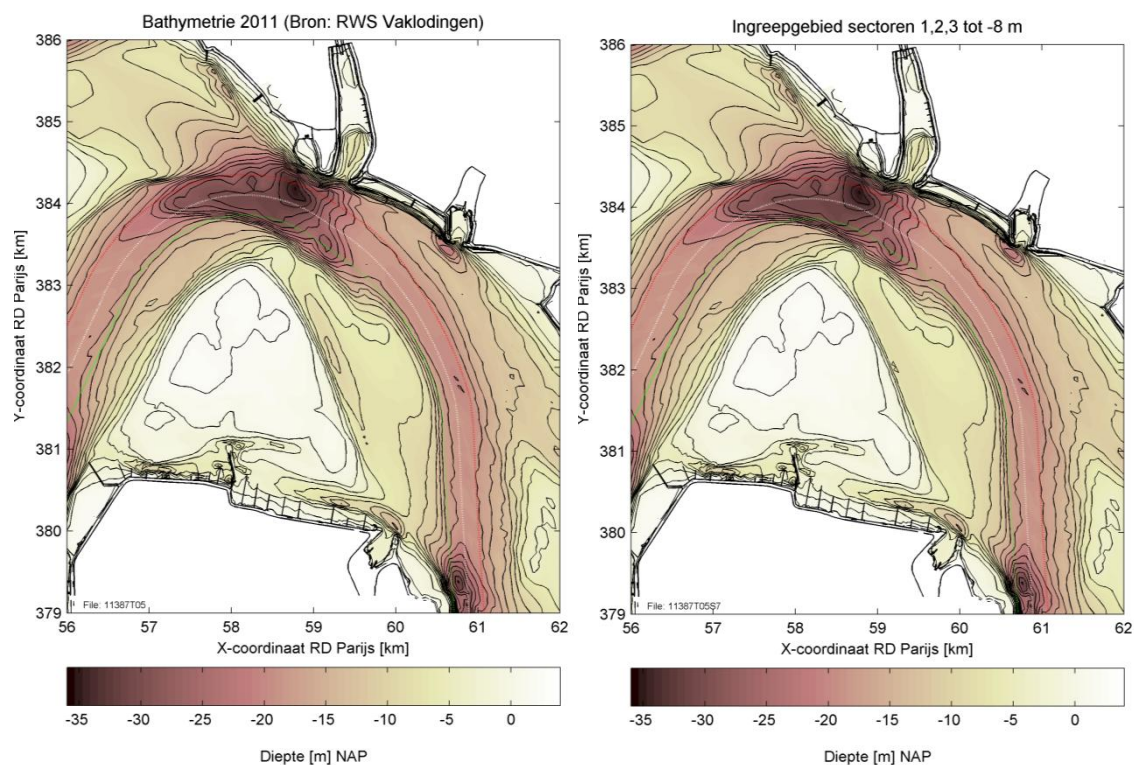
Figuur Bijlage D-2: Scenario sector 1 hoog uitgebreid.



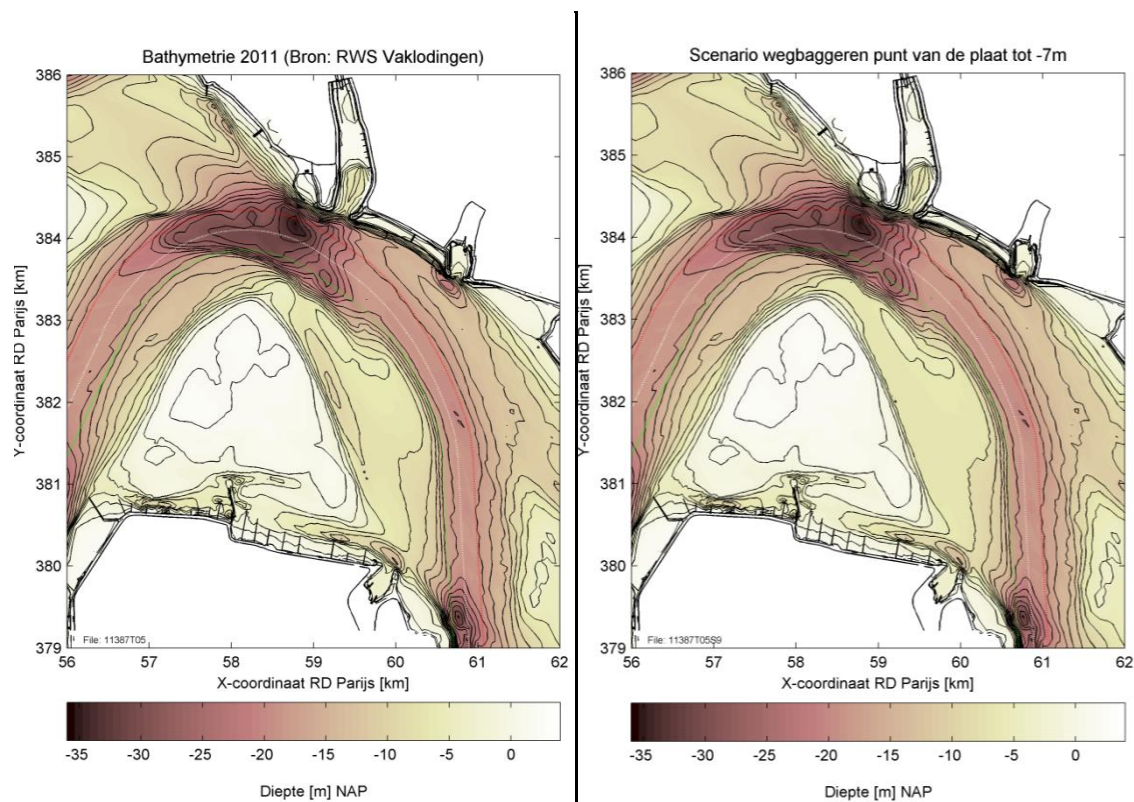
Figuur Bijlage D-3: Scenario sectoren 1,2.



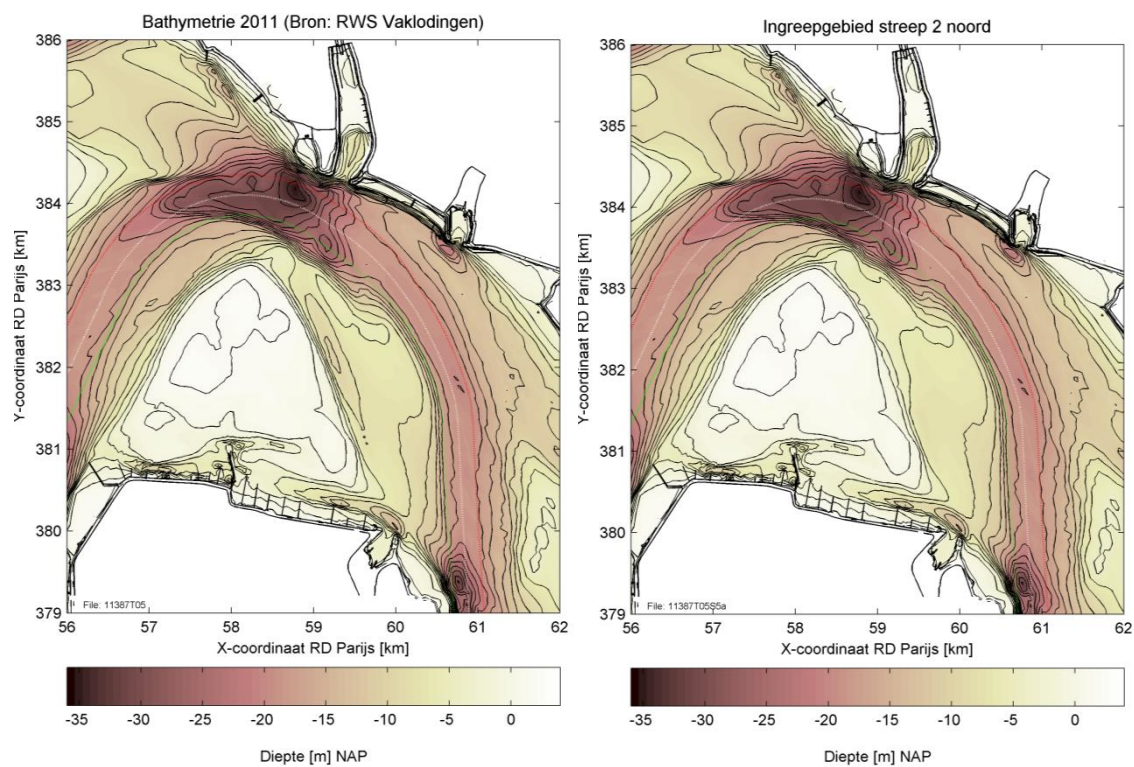
Figuur Bijlage D-4: Scenario sectoren 2,3.



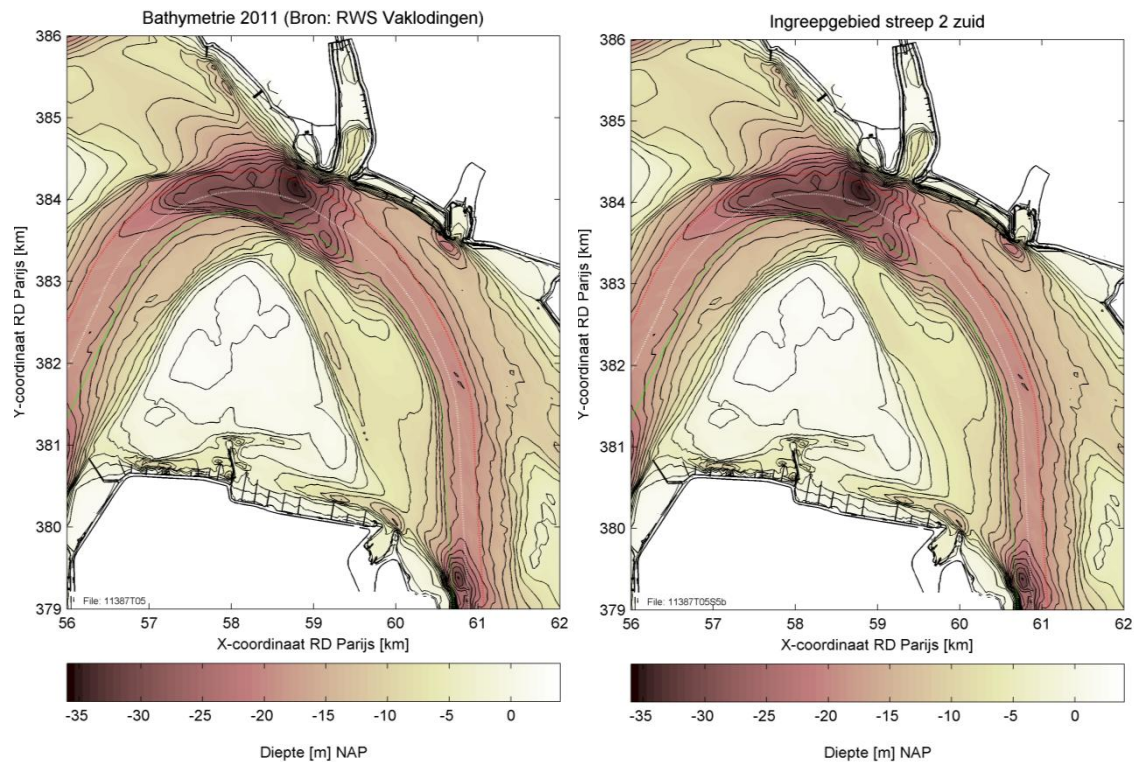
Figuur Bijlage D-5: Scenario opvullen van de uitschuring (sectoren 1, 2, 3 verhoogd tot -8m).



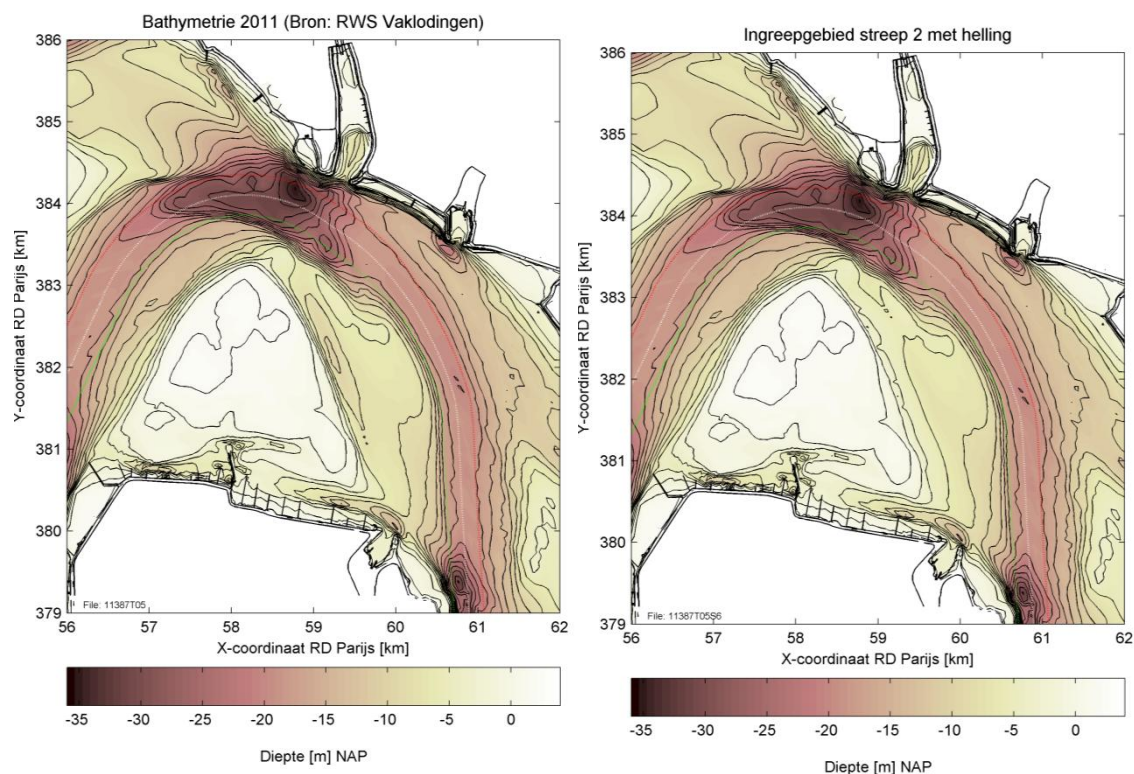
Figuur Bijlage D-6: Scenario punt platmaken (wegbaggeren tot -7m NAP)



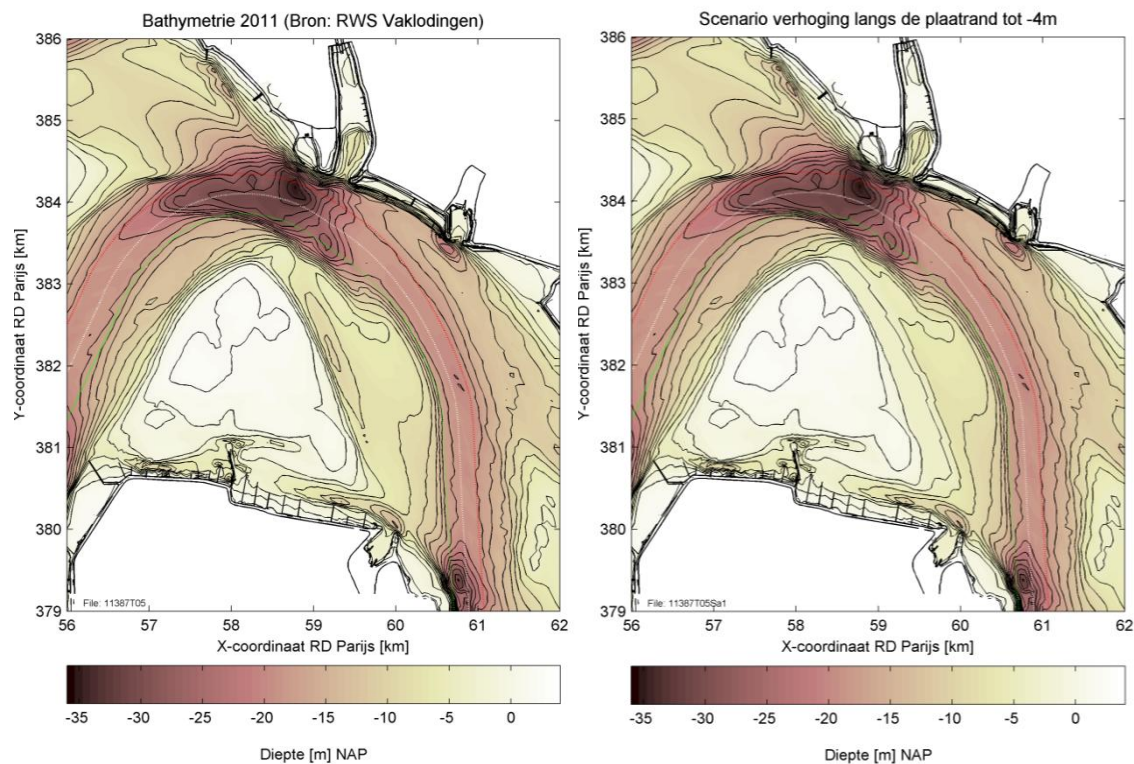
Figuur Bijlage D-7: Scenario band 2 noord.



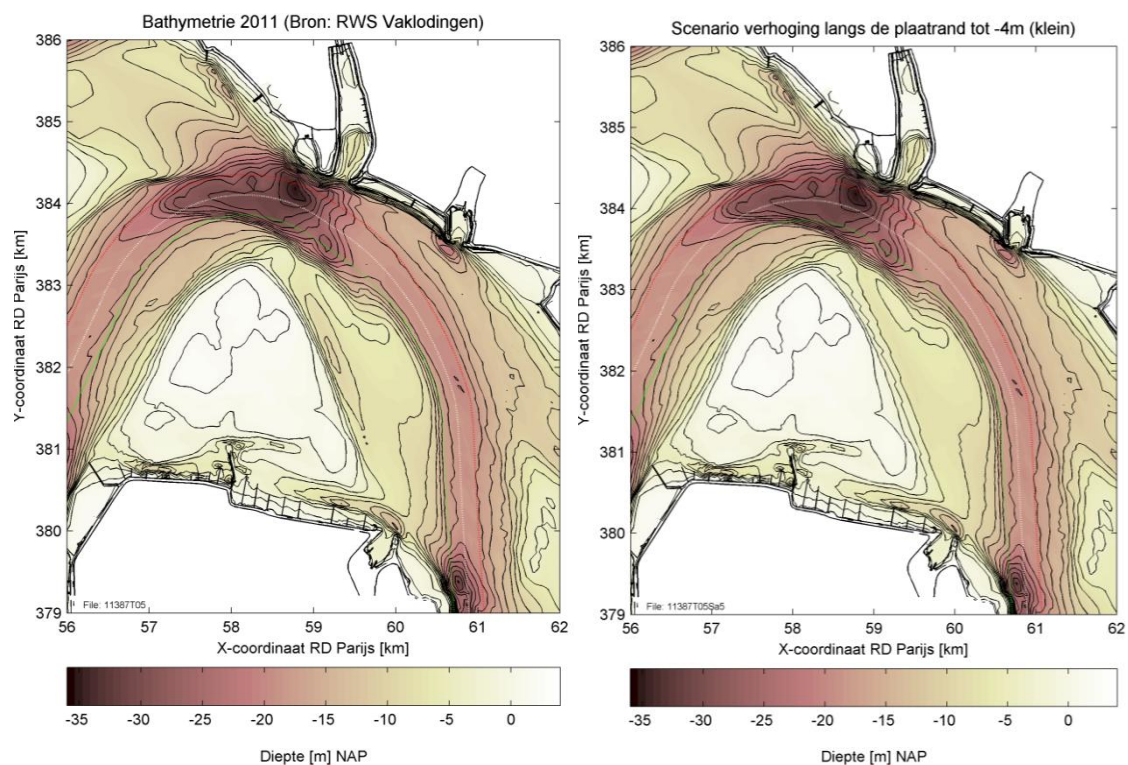
Figuur Bijlage D-8: Scenario band 2 zuid.



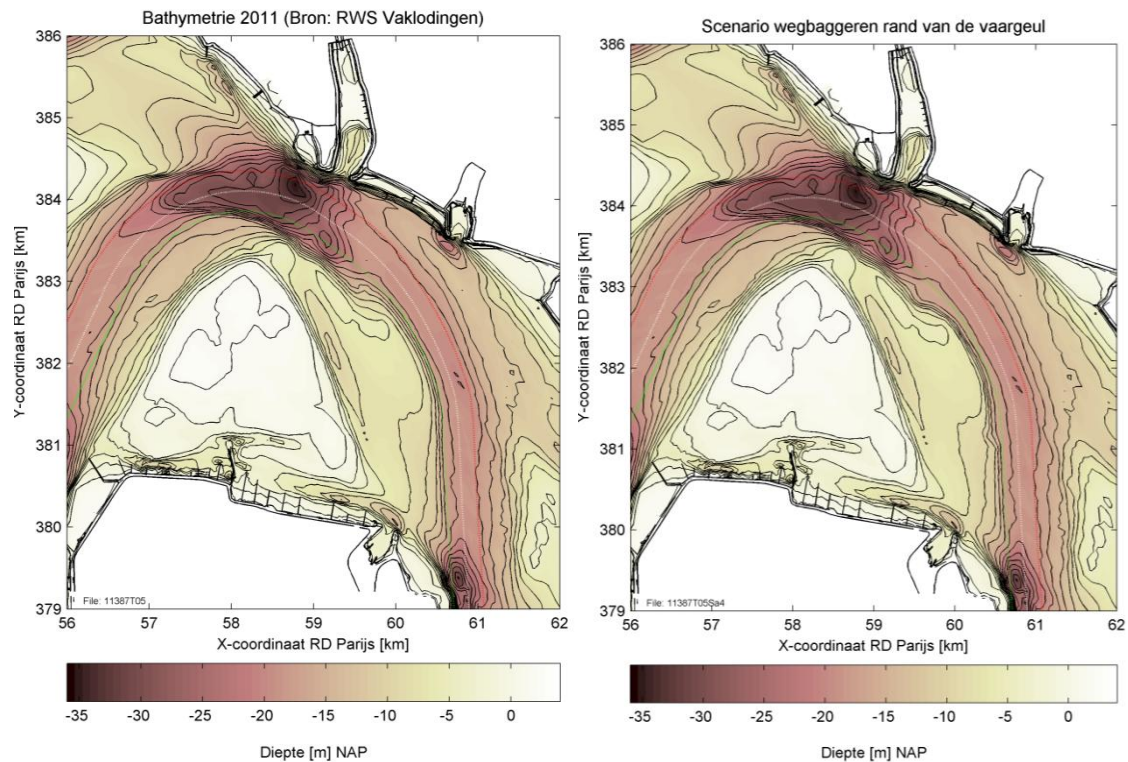
Figuur Bijlage D-9: Scenario band 2, variant met hellende bodem.



Figuur Bijlage D-10: Scenario band 2 hoog breed.

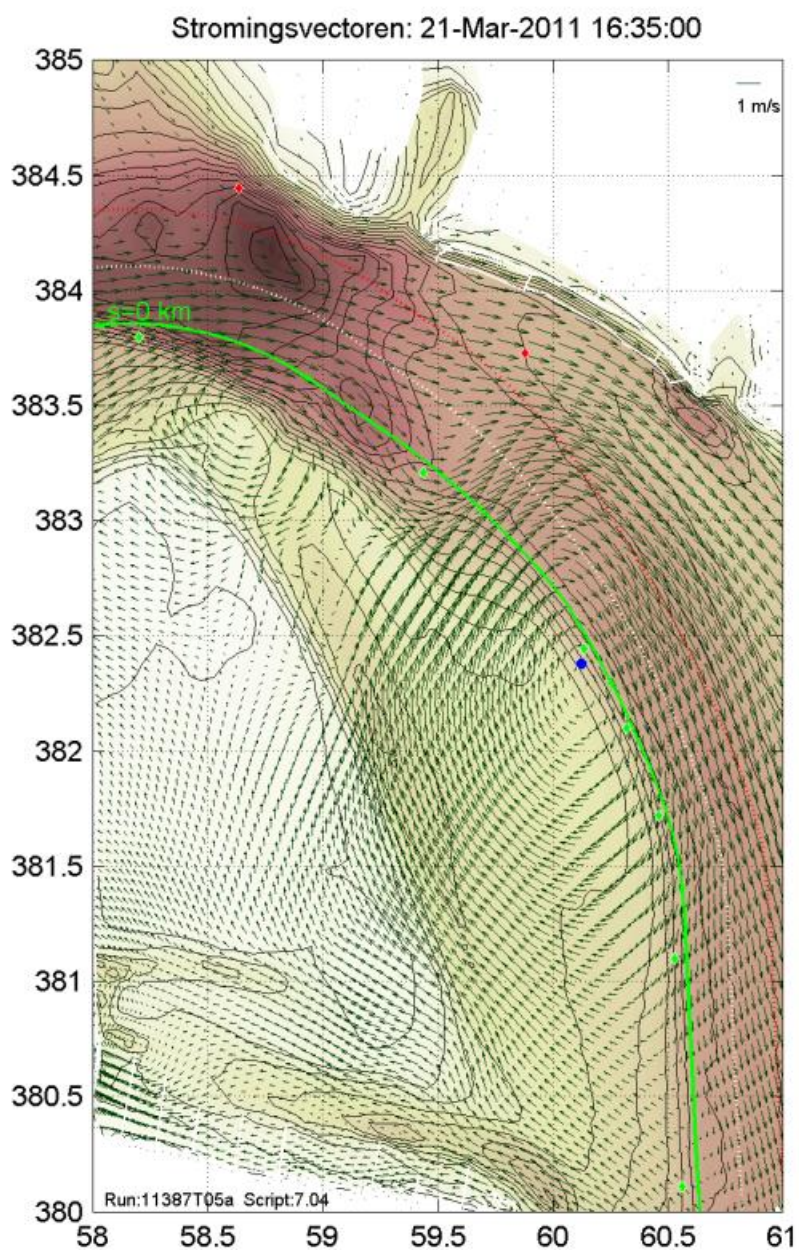


Figuur Bijlage D-11: Scenario band 2 hoog smal.

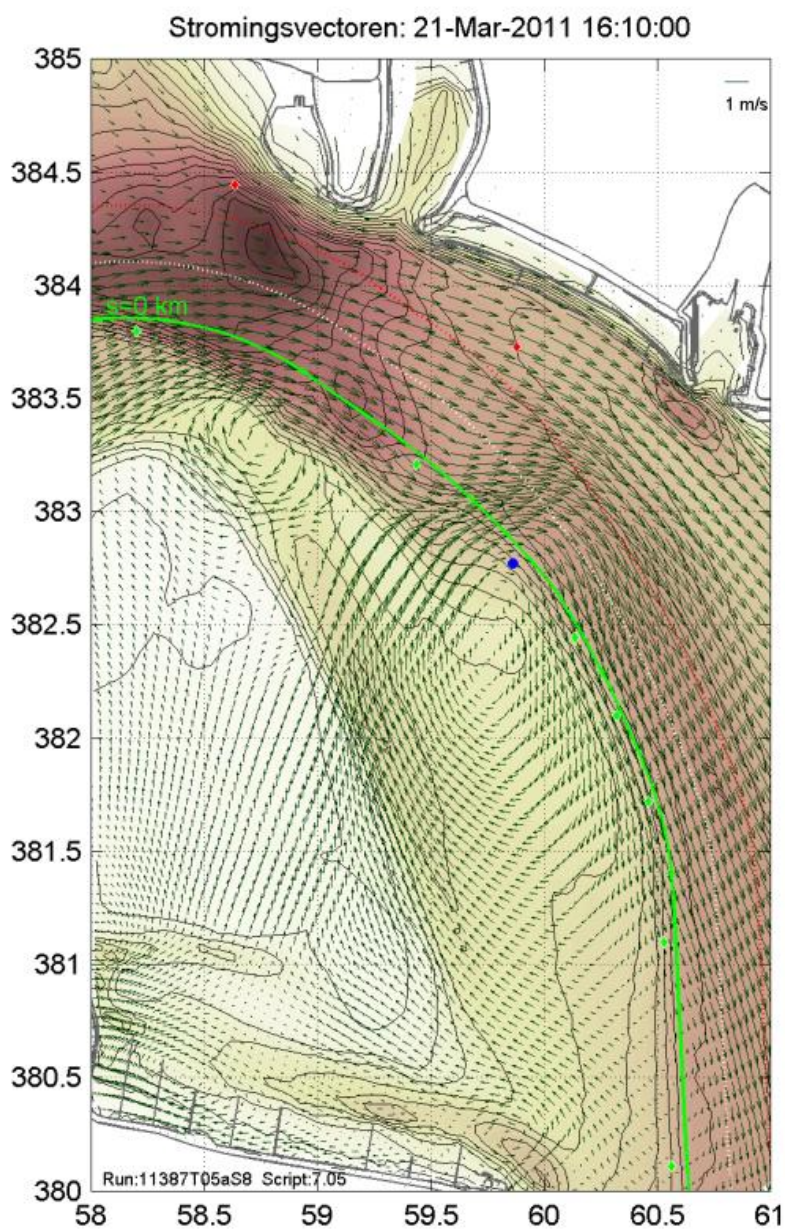


Figuur Bijlage D-12: Scenario wegbaggeren vaargeulrand.

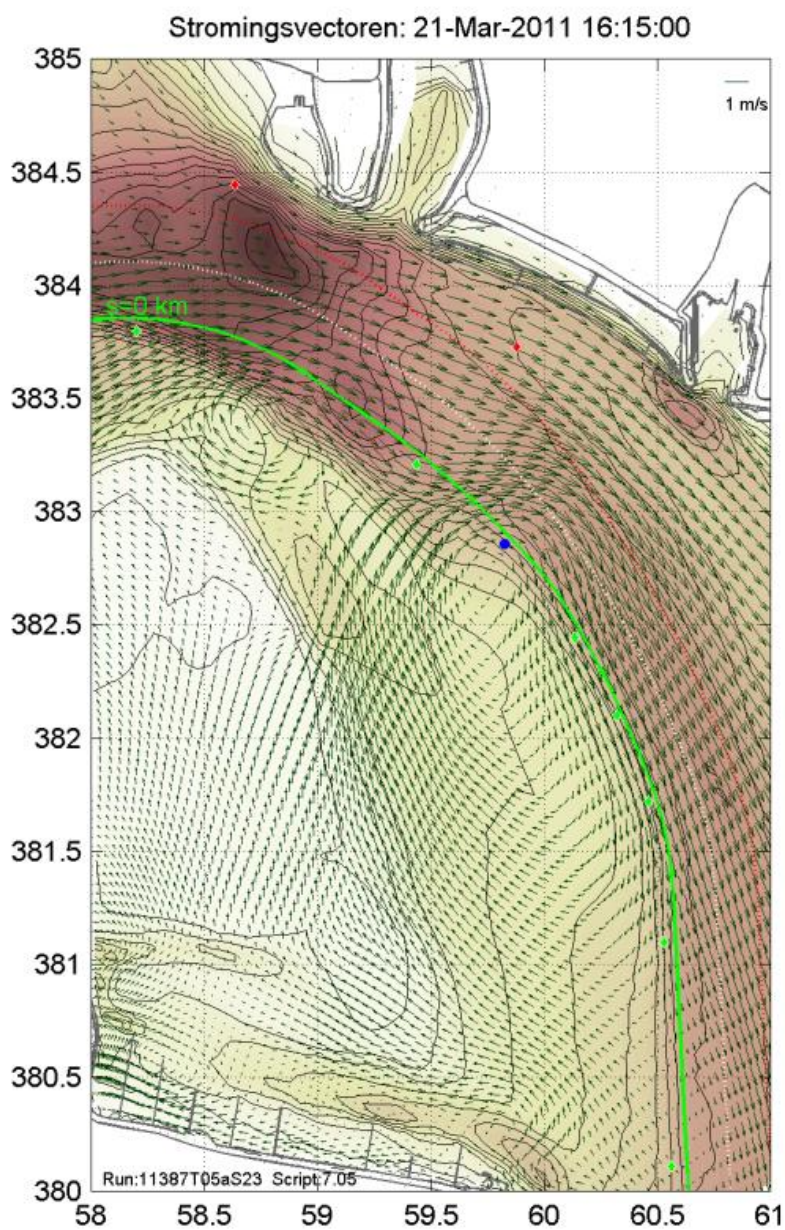
Bijlage E Aanvullende testen: stromingsvelden uitgesloten scenario's



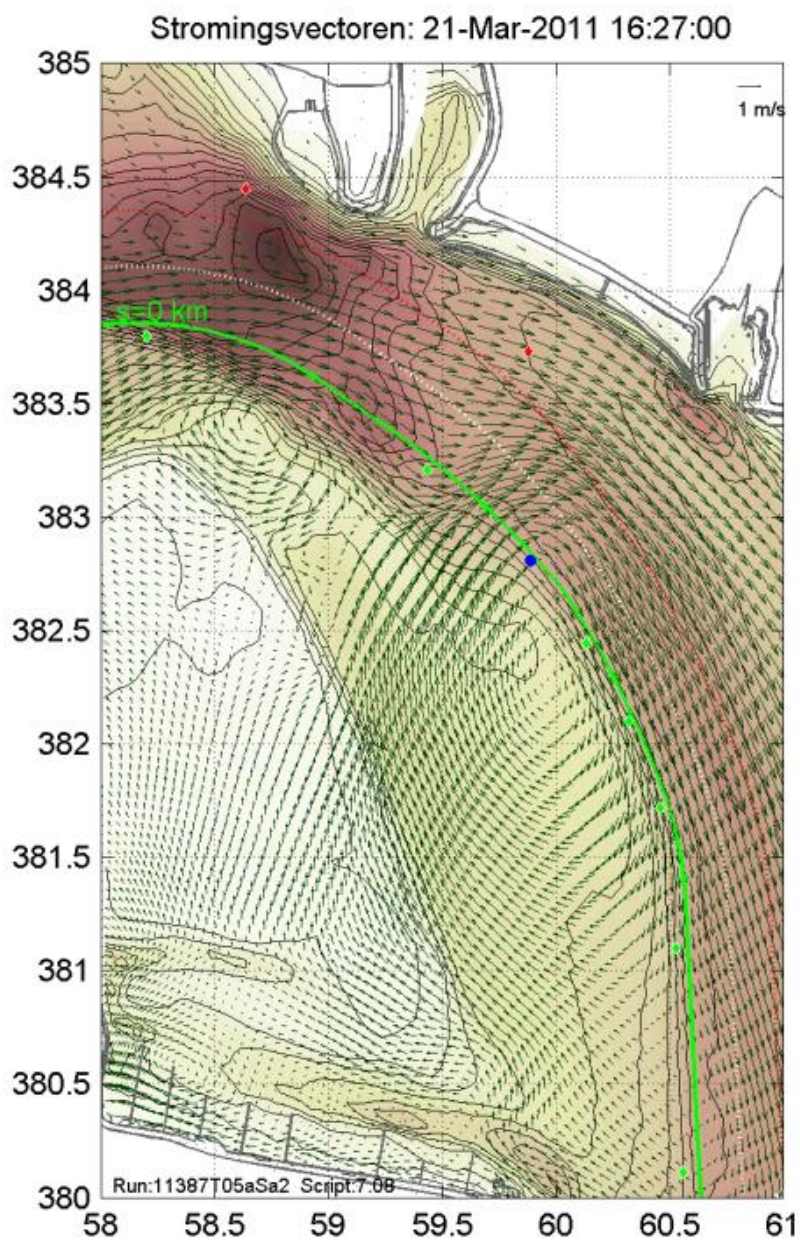
Figuur Bijlage E-1: Referentiesimulatie: ongewijzigde bathymetrie. Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: 1.39 m/s.



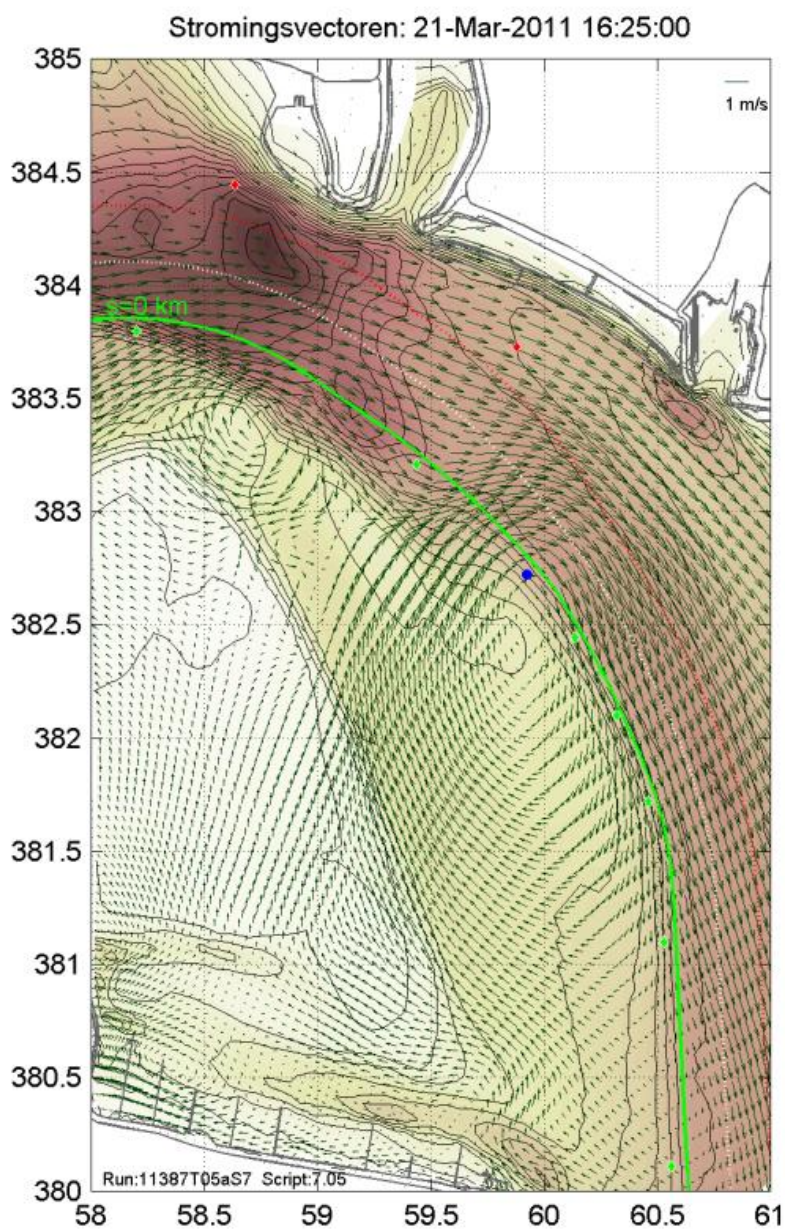
*Figuur Bijlage E-2: Scenario platmaken van het punt van de verzonken plaat tot -7 m.
Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: -1.67 m/s.*



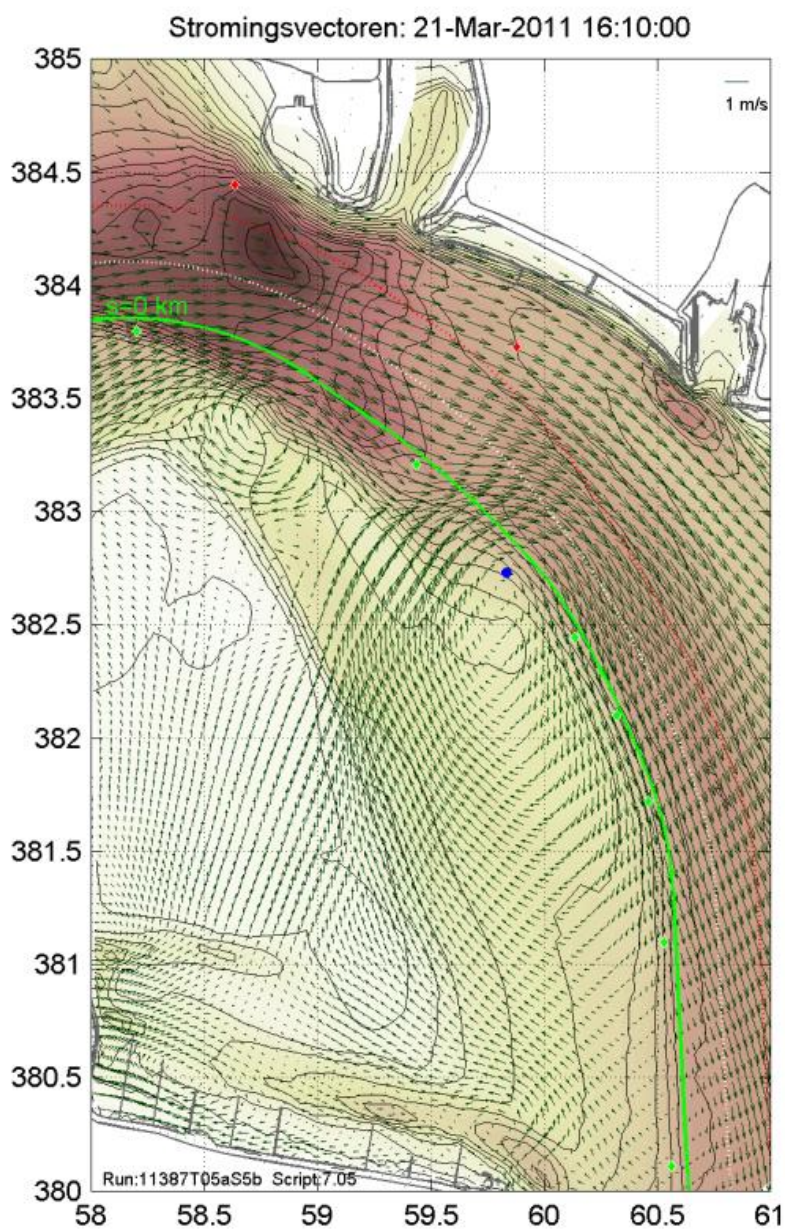
Figuur Bijlage E-3: Scenario verhoging sectoren 2 en 3 tot -6m. Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: -1.55 m/s.



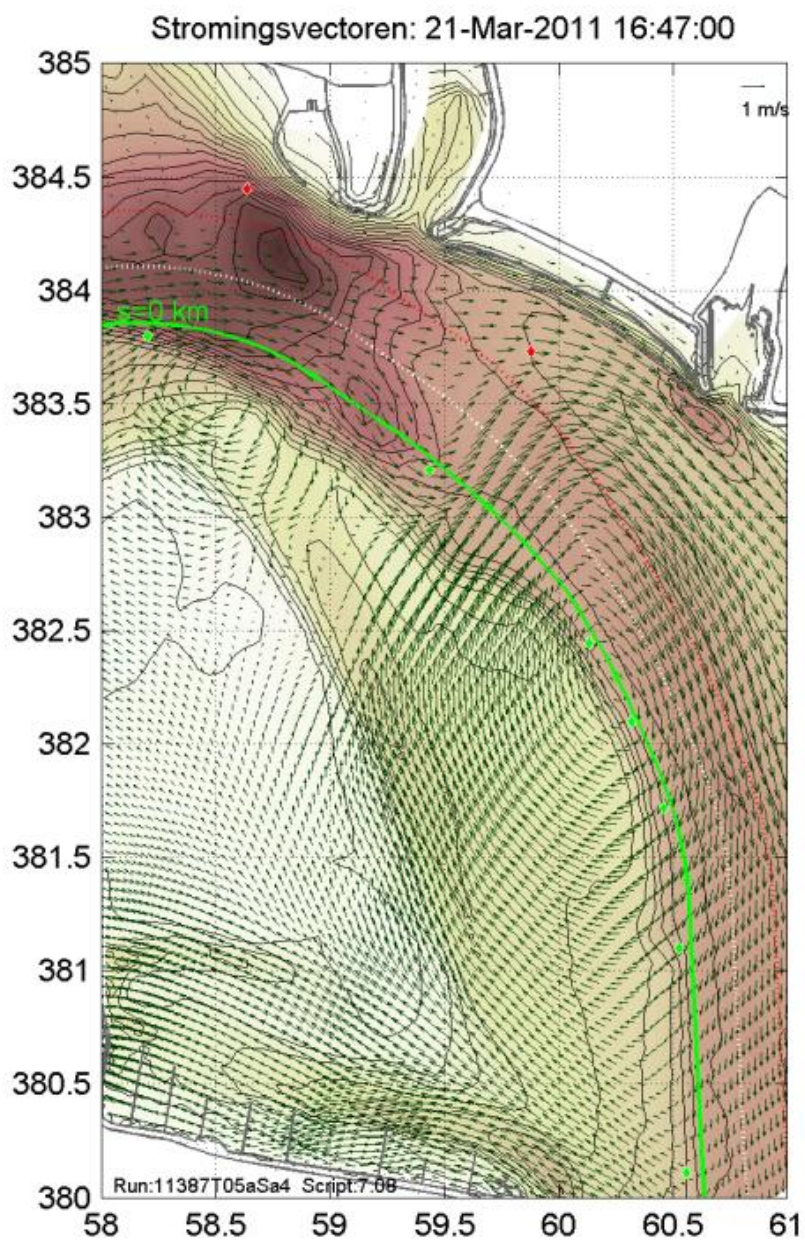
Figuur Bijlage E-4: Scenario verhoging van sector 1 tot -4 m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.51 m/s.



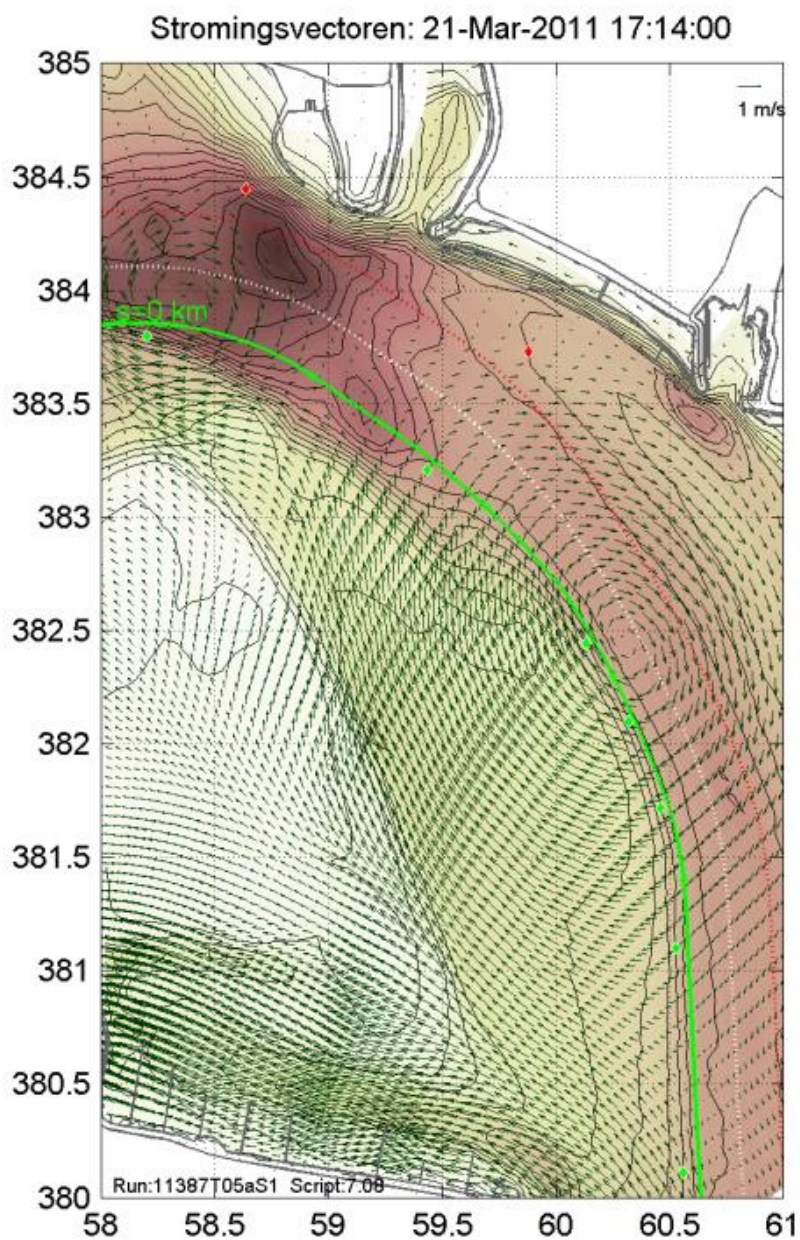
Figuur Bijlage E-5: Scenario opvullen uitschuring. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.51 m/s.



Figuur Bijlage E-6: Scenario verhoging van band 2 (enkel zuidelijk deel) tot -6m. Maximale dwarssnellheid langs de groene boeienlijn: -1.46 m/s.

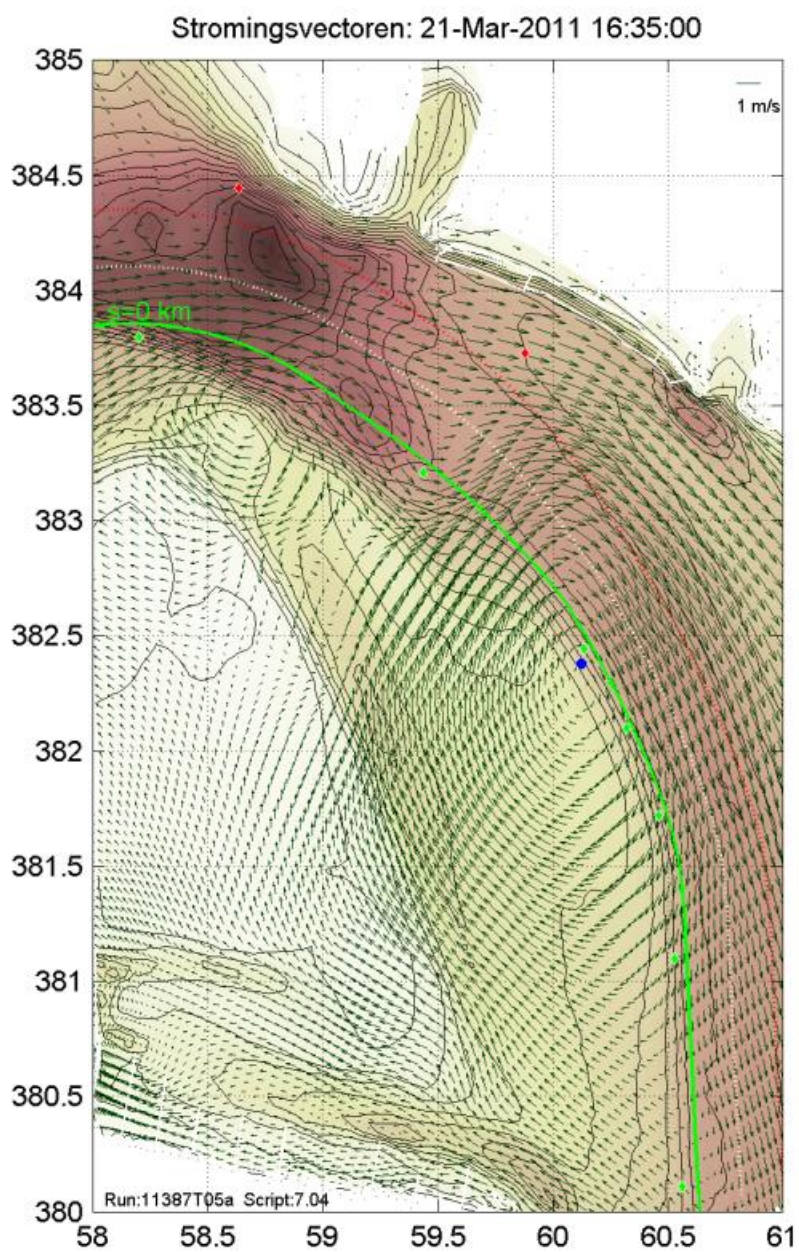


Figuur Bijlage E-7: Scenario wegbaggeren vaargeulrand. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.33 m/s

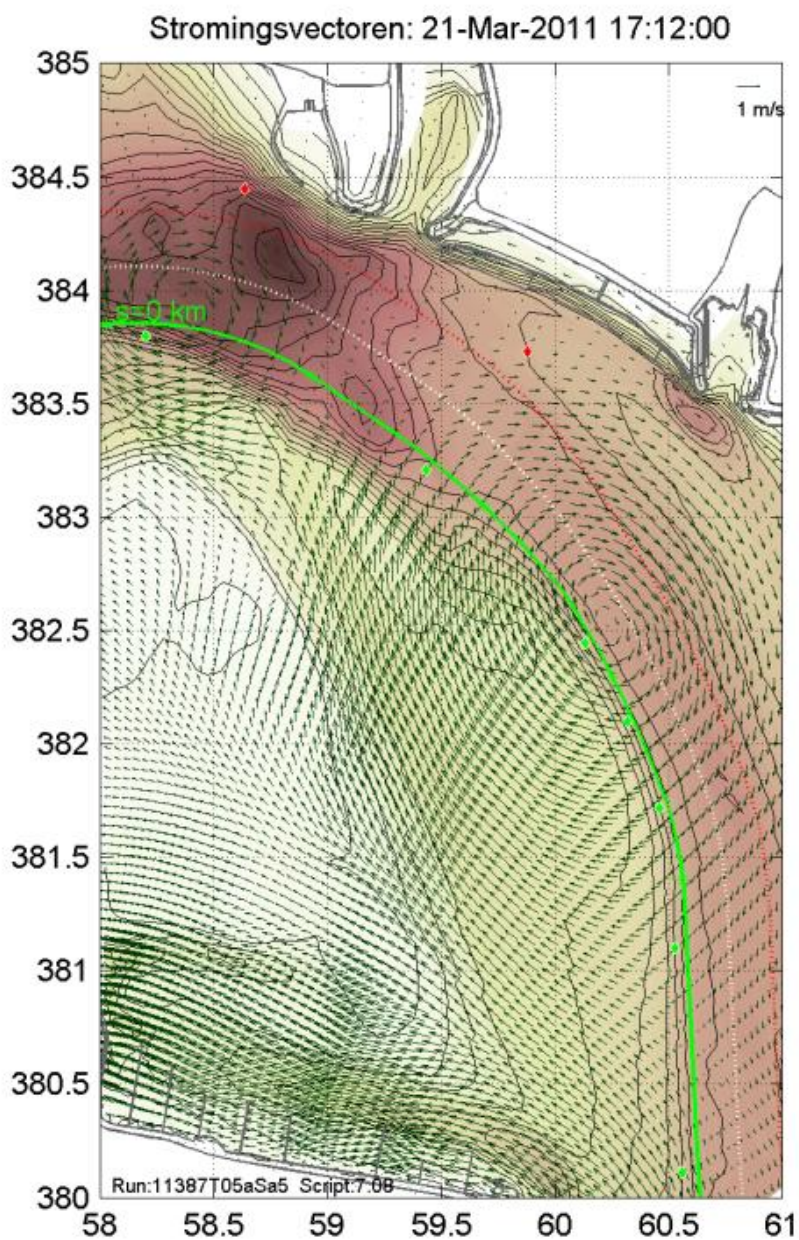


Figuur Bijlage E-8: Scenario verhoging sector 1 tot -6m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.20 m/s.

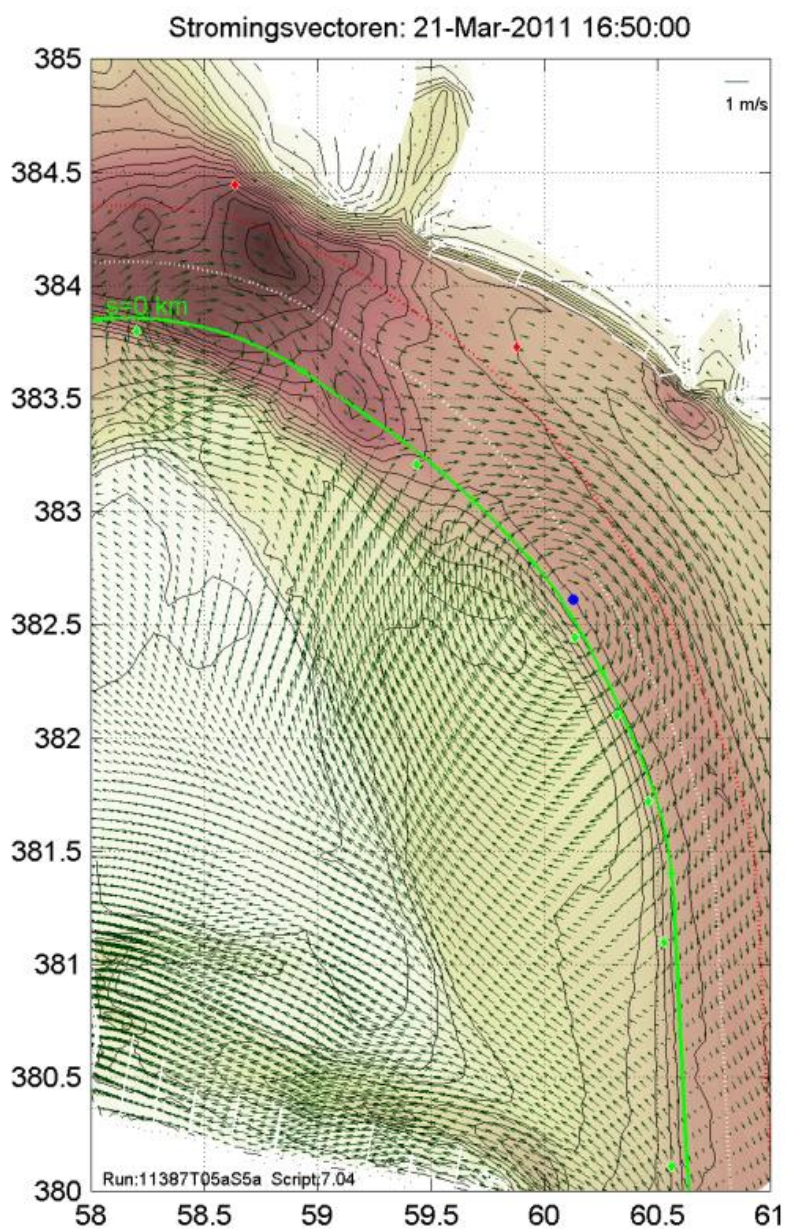
Bijlage F Aanvullende testen: stromingsvelden kansrijke scenario's



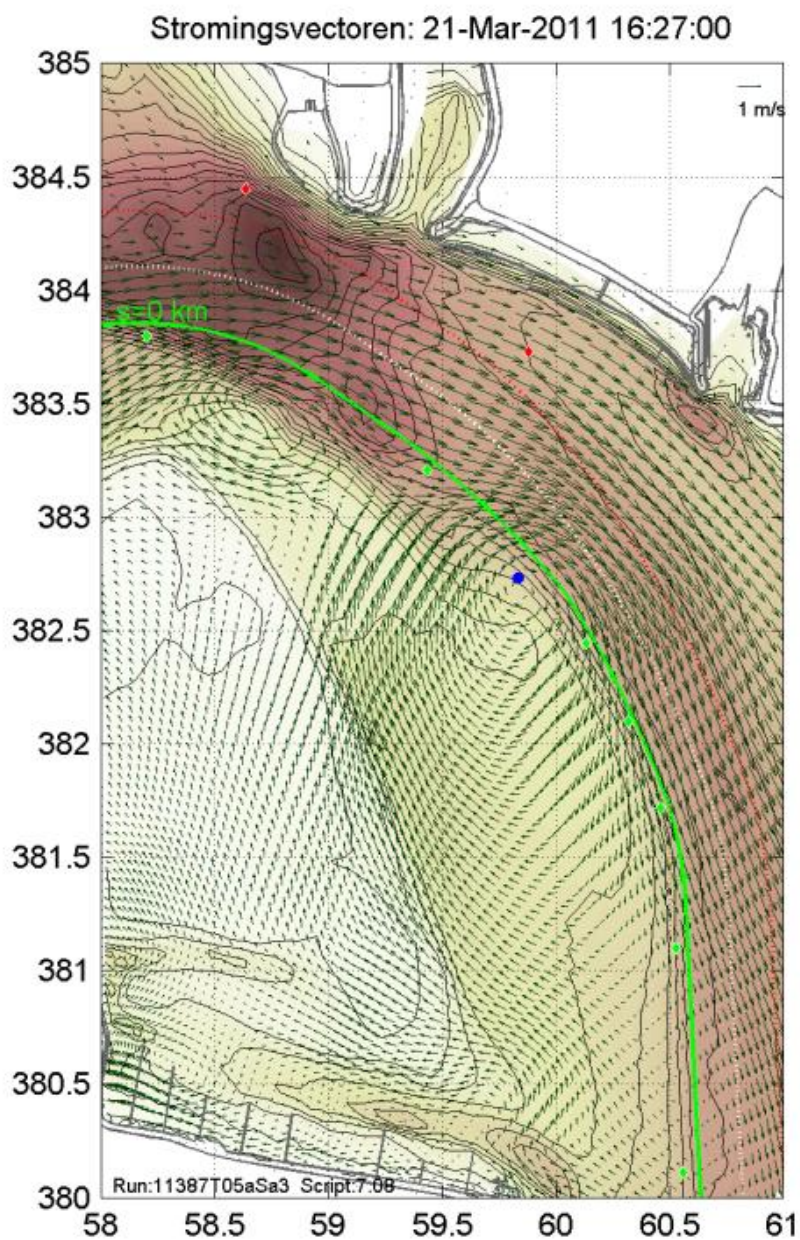
Figuur Bijlage F-1: Ongewijzigde situatie bathymetrie 2011. Maximale dwarssnelheid: -1,39 m/s.



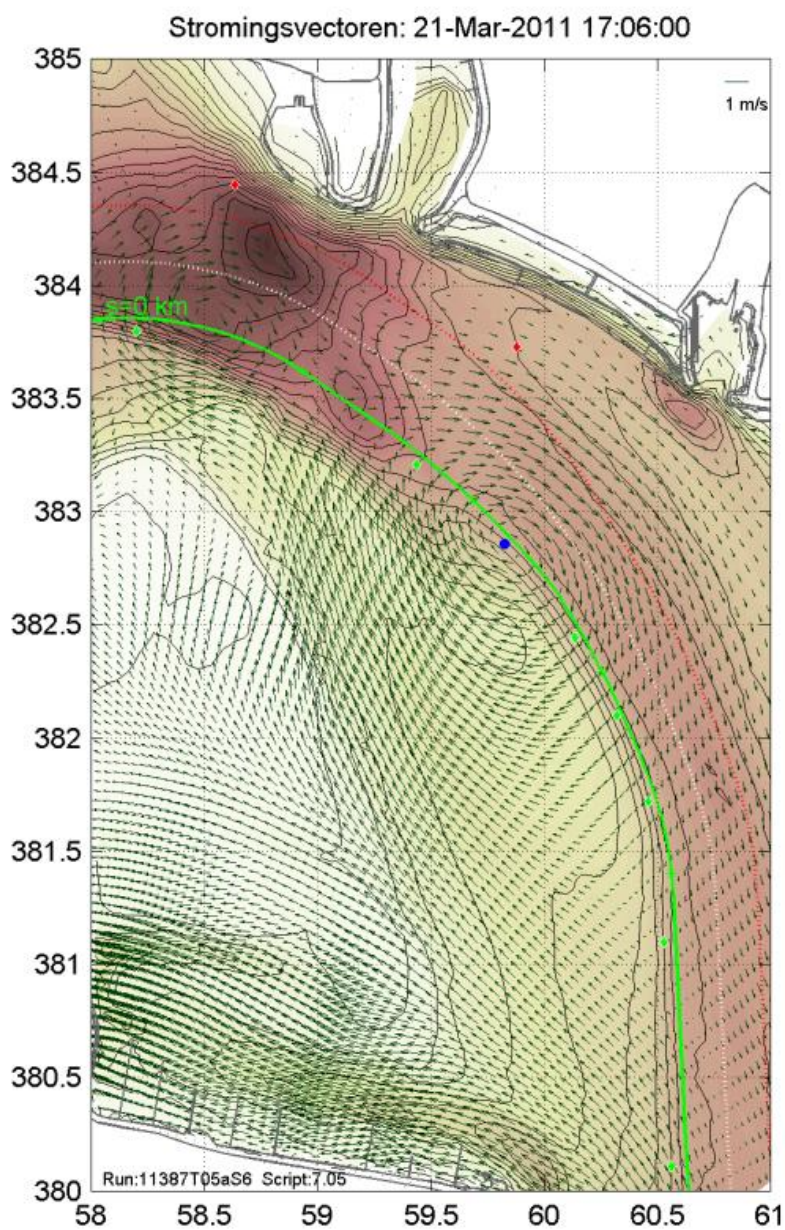
Figuur Bijlage F-2: Scenario verhoging van band 2 tot -4 m. Maximale dwarssnelheid langs de groene boeienlijn: -1.15 m/s.



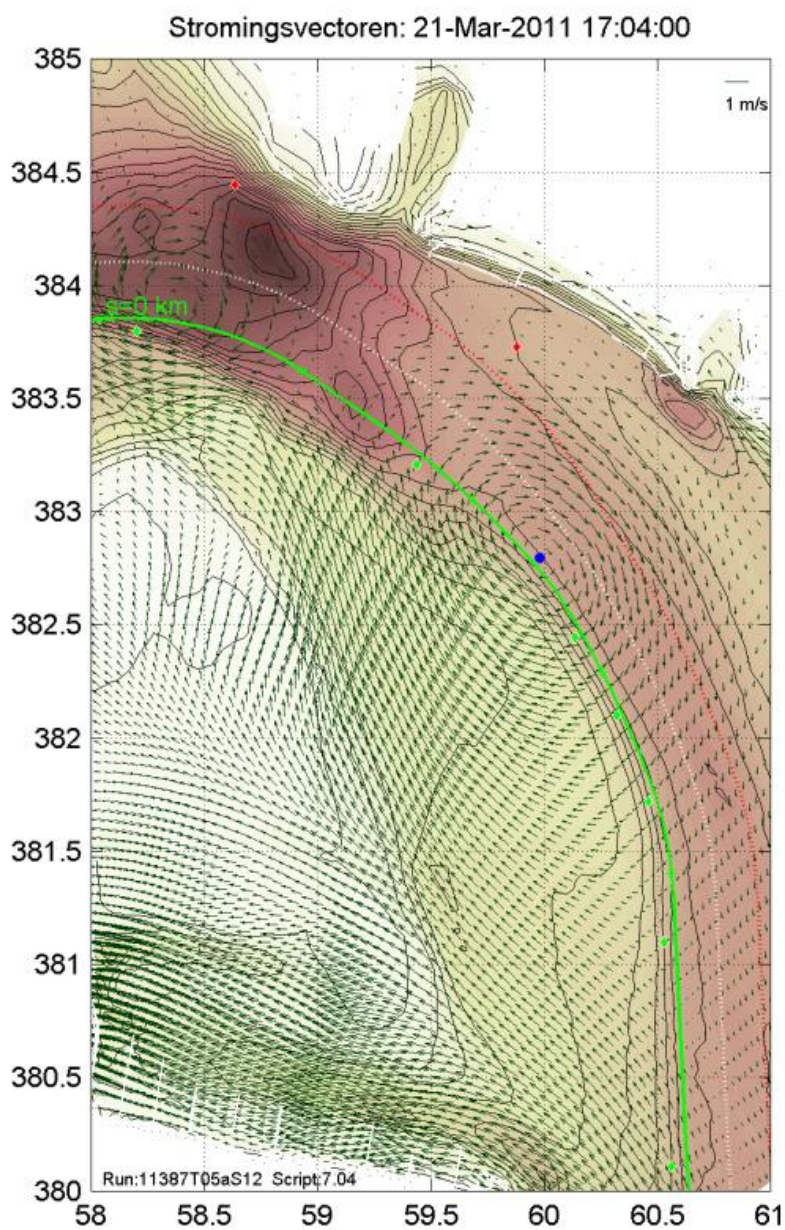
Figuur Bijlage F-3: Scenario verhoging band 2 tot -6m (enkel noordelijk deel). Maximale dwarssnelheid: -1,13 m/s



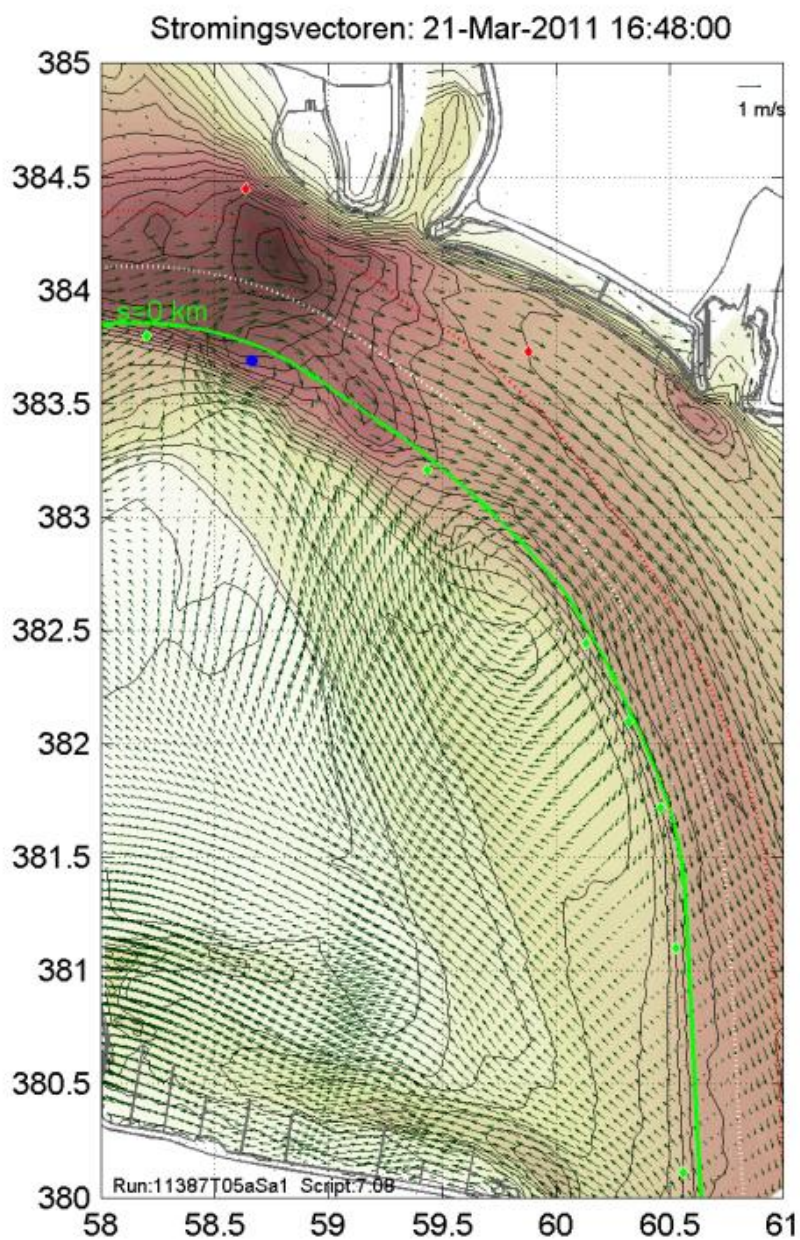
Figuur Bijlage F-4: Scenario verhoging sector 1 tot -4m. Maximale dwarssnelheid: -1,11 m/s



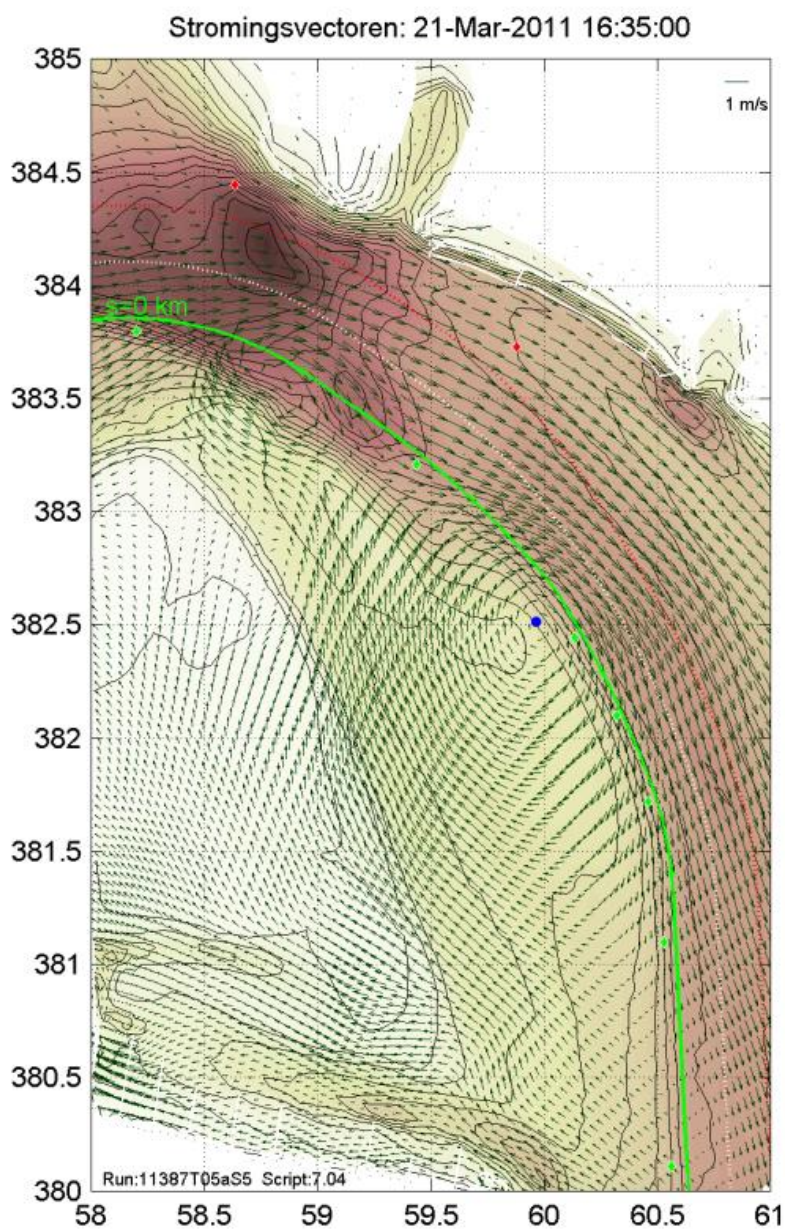
*Figuur Bijlage F-5: Scenario verhoging band 2 tot -6m en met hellende bodemligging.
Maximale dwarssnijlengte: -1,06 m/s*



Figuur Bijlage F-6: Scenario verhoging sectoren 1,2. Maximale dwarssnellheid: -1.05 m/s

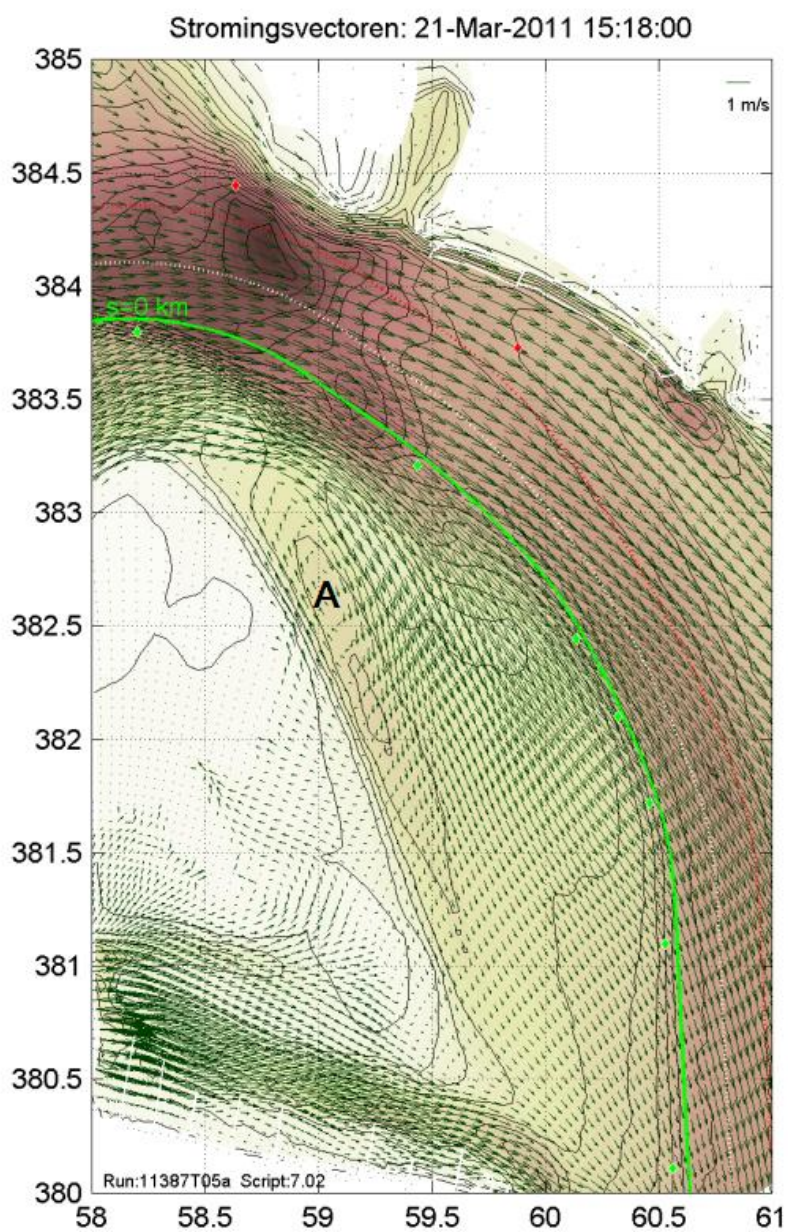


Figuur Bijlage F-7: Scenario verhoging band 2 tot -4m. Maximale dwarssnellheid: -0,97 m/s

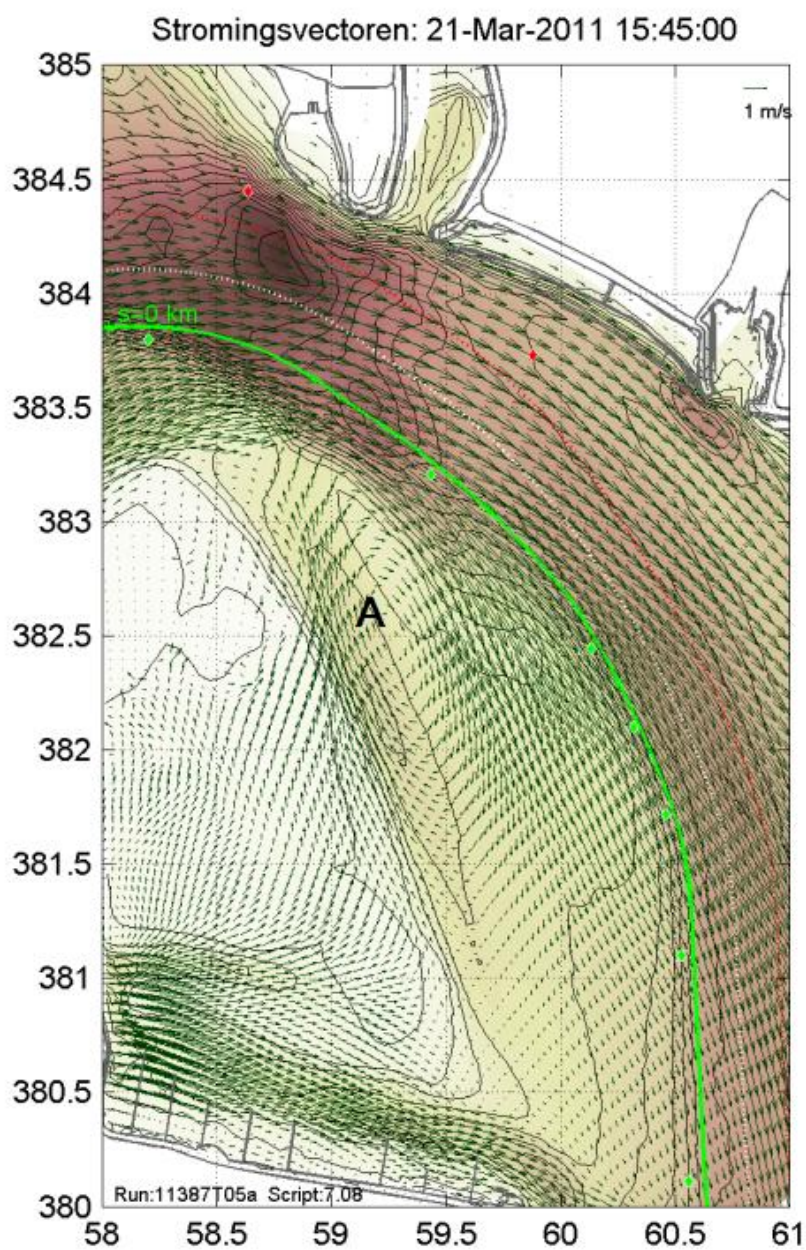


Figuur Bijlage F-8: Scenario verhoging band 2 tot -6m. Maximale dwarsnelheid: -0.92 m/s.

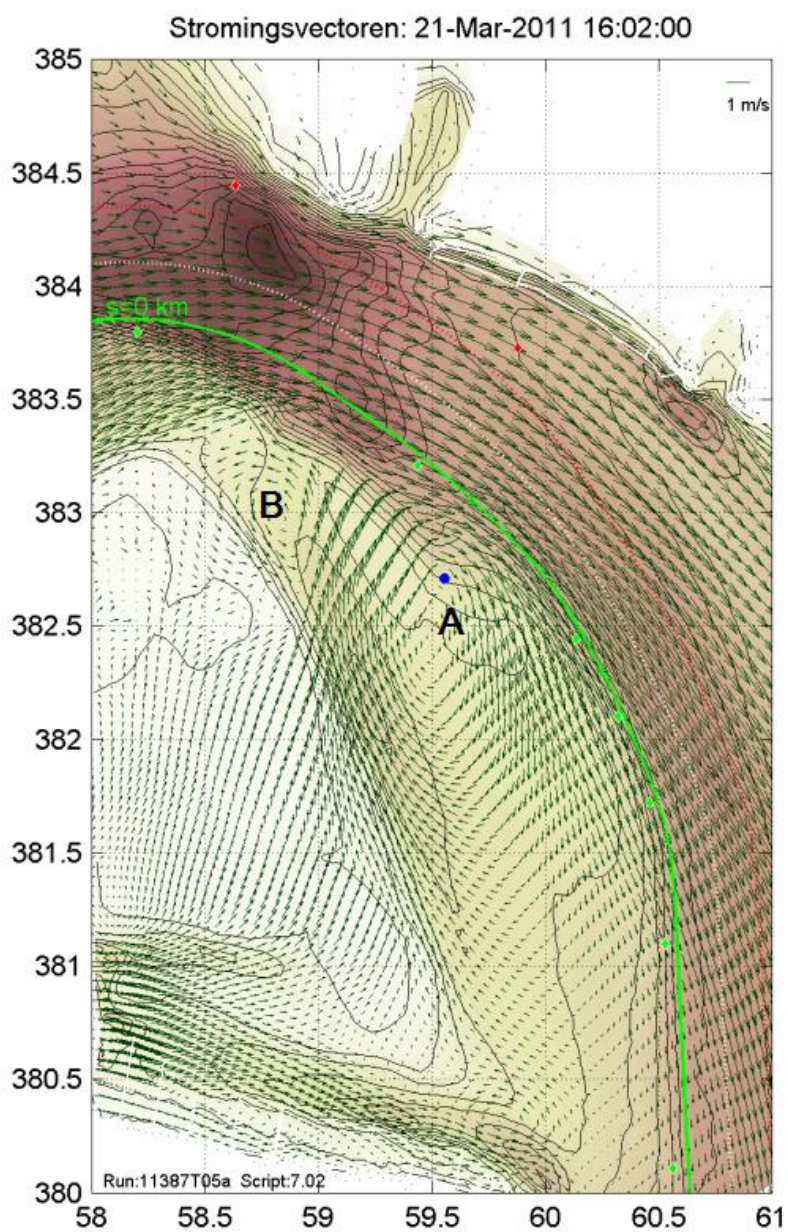
Bijlage G Stromingsvelden neervorming: bestaande situatie



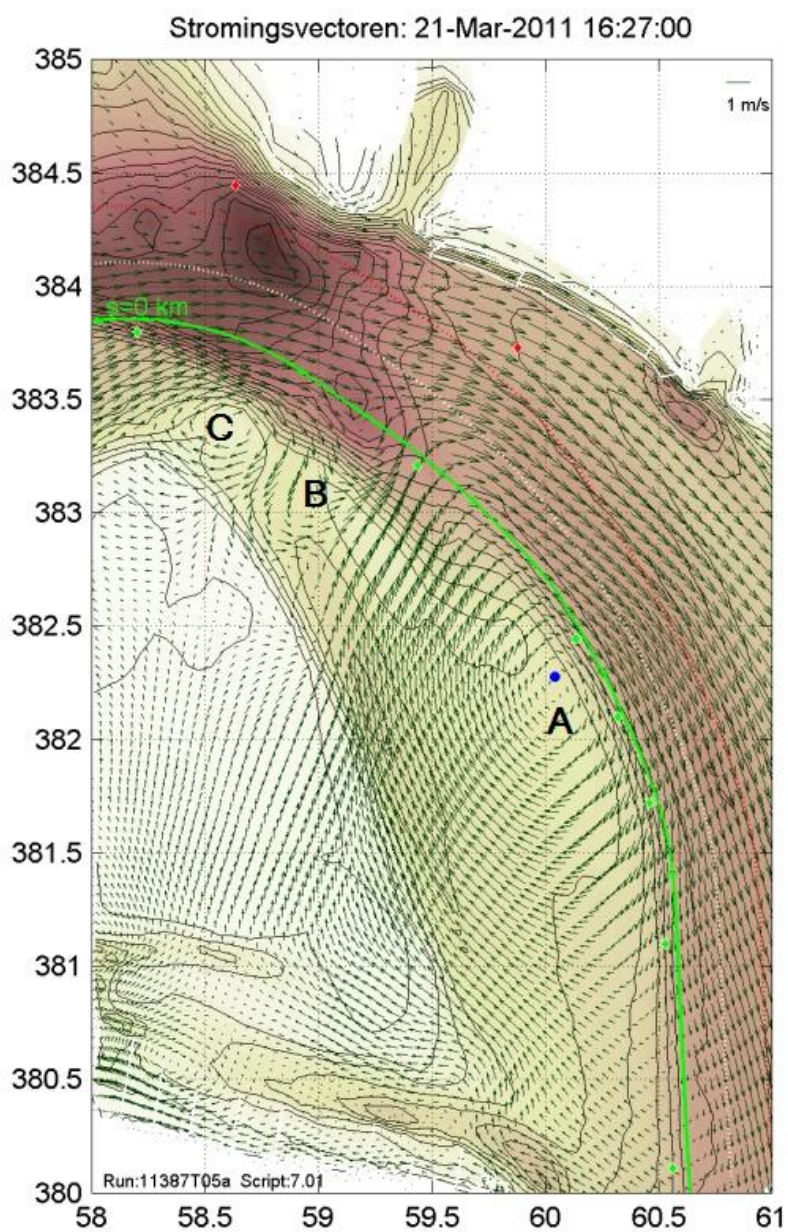
Figuur Bijlage G-1: Neervorming met bathymetrie 2011. Ontstaan van neer A.



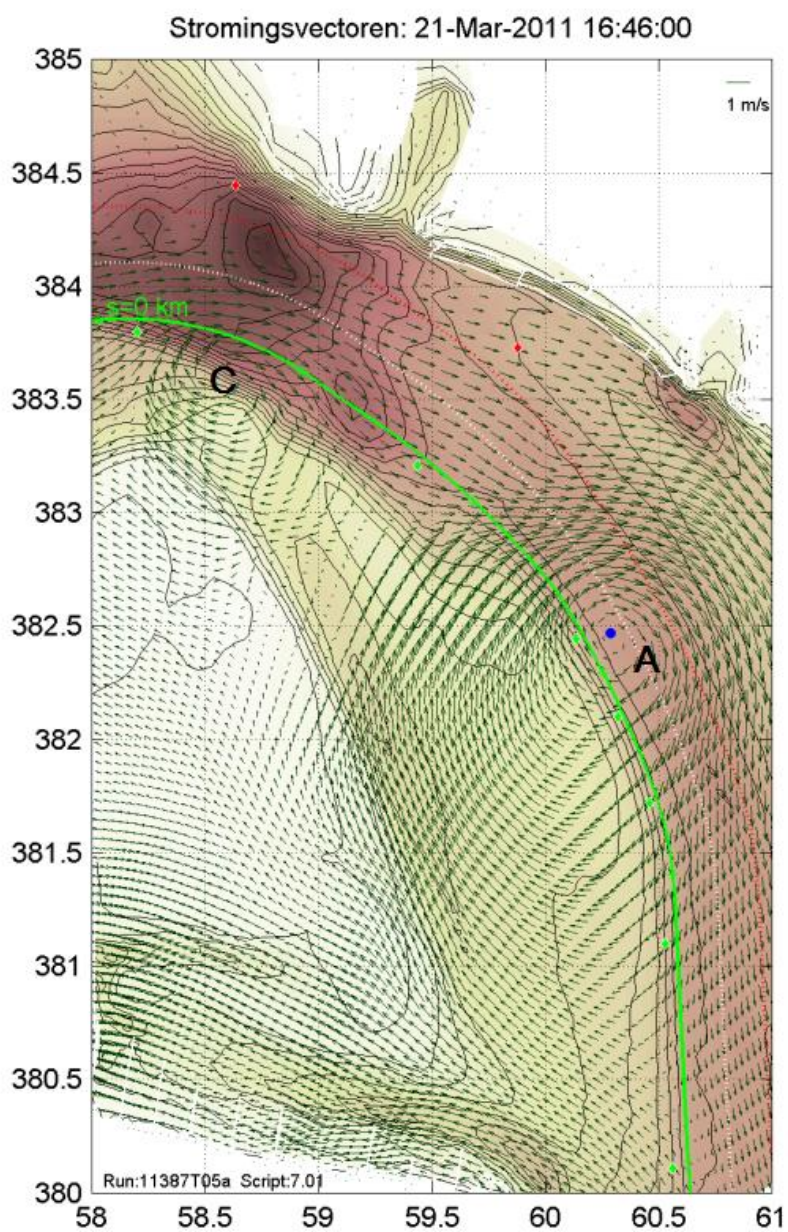
Figuur Bijlage G-2: Neervorming met bathymetrie 2011. Versterking van neer A door de vloedstroom uit de Schaar van Ossensisse



Figuur Bijlage G-3: Neervorming met bathymetrie 2011. Versterking en voortplanting van neer A, ontstaan van neer B.

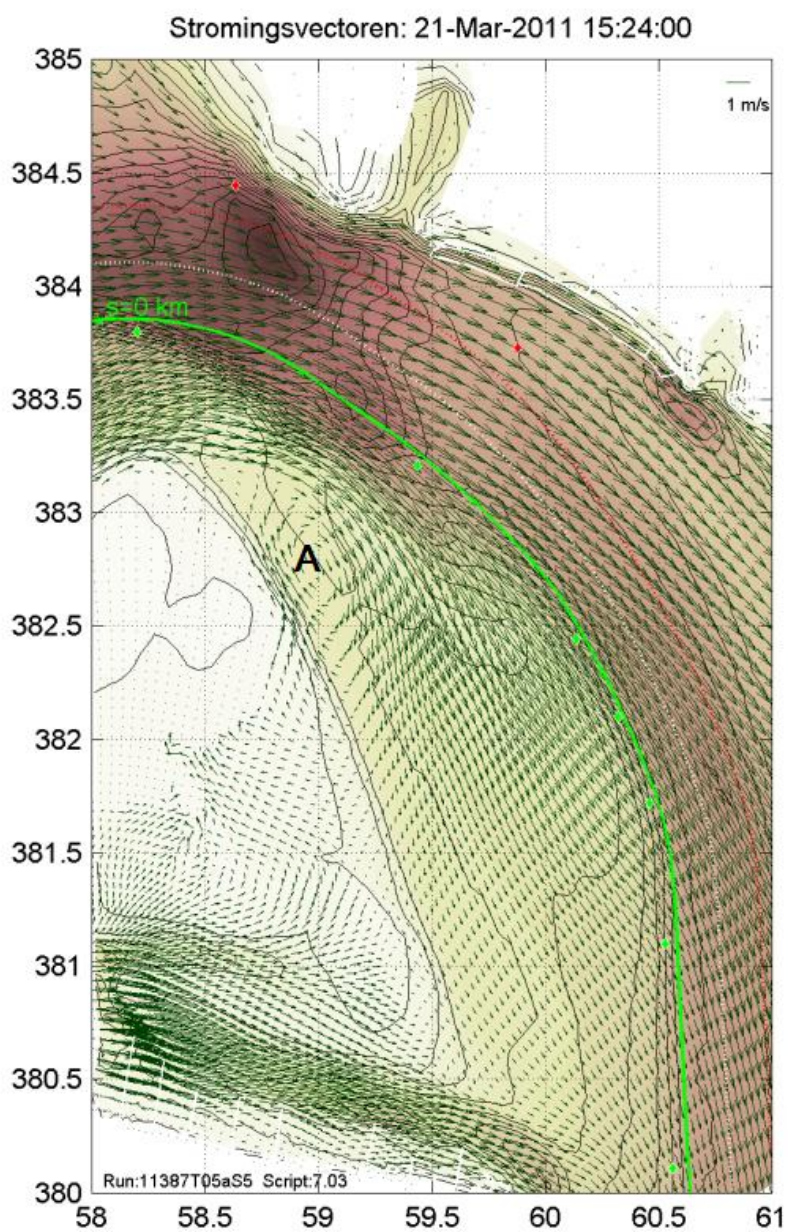


Figuur Bijlage G-4: Neervorming met bathymetrie 2011. Opwaartse voorplanting van neer A, afbreking van neer B, ontstaan van neer C.

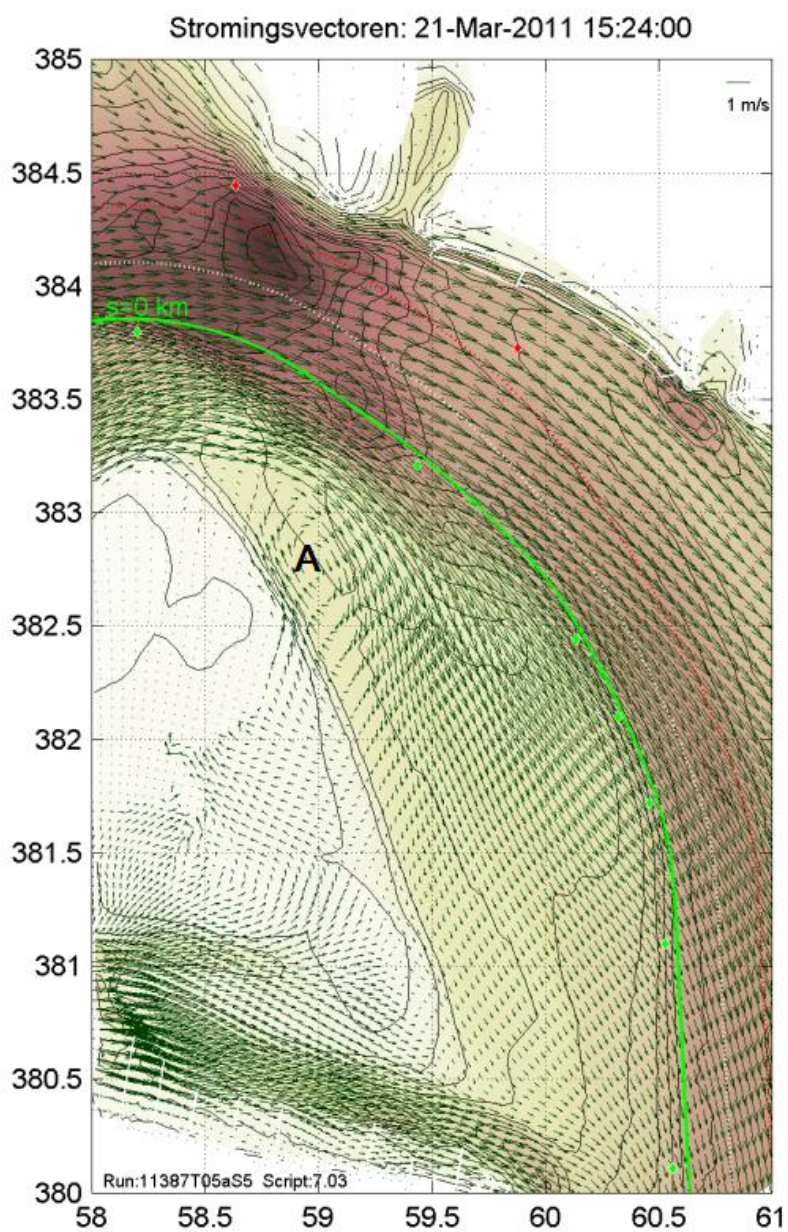


Figuur Bijlage G-5: Neervorming met bathymetrie 2011. Opwaartse voortplanting van neer A, afwaartse voortplanting van neer C

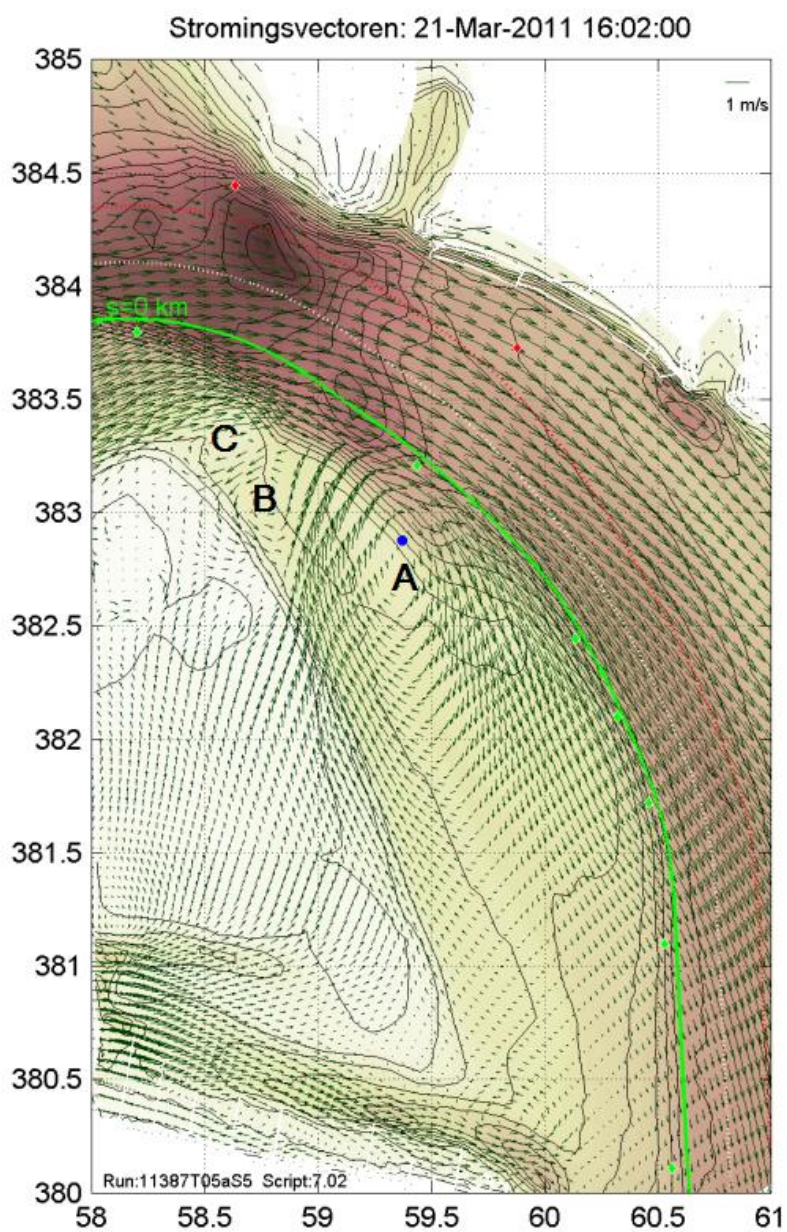
Bijlage H Stromingsvelden neervorming: het meest effectieve scenario (band 2)



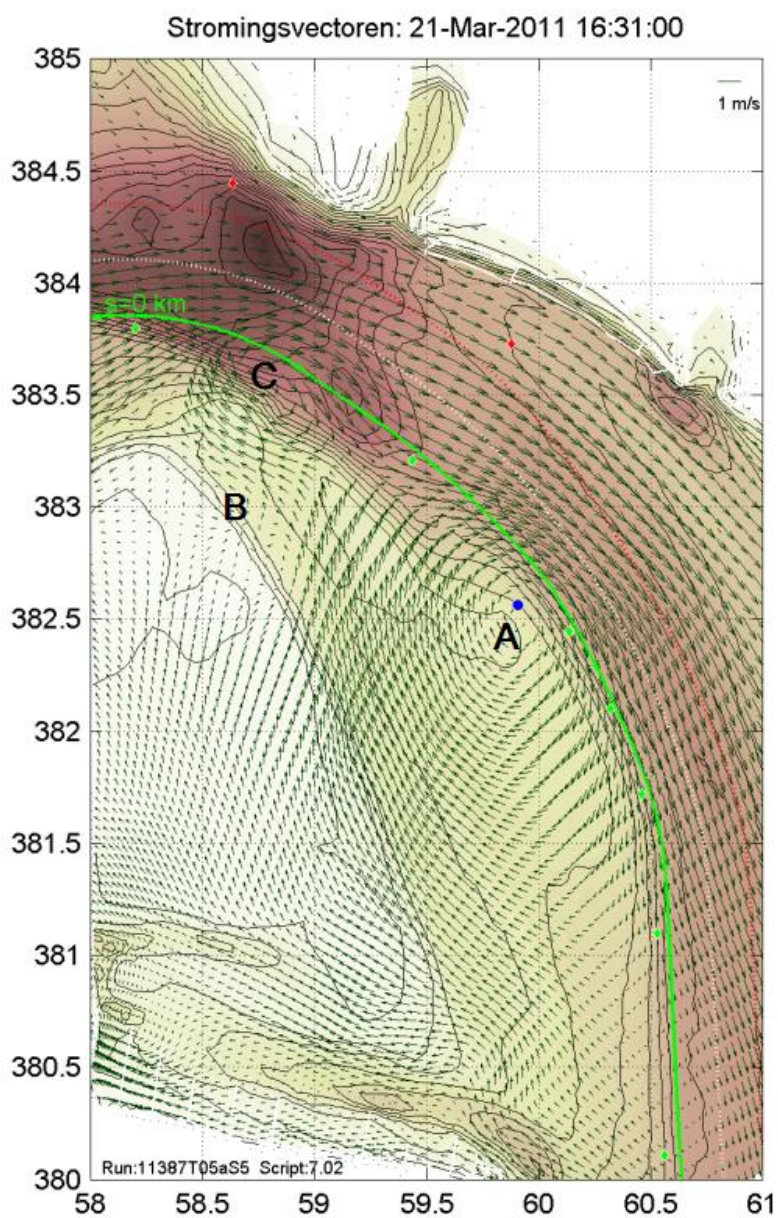
Figuur Bijlage H-1: Neervorming met bathymetrie van scenario band 2 (verhoging langs de plaatrand). Ontstaan van neer A



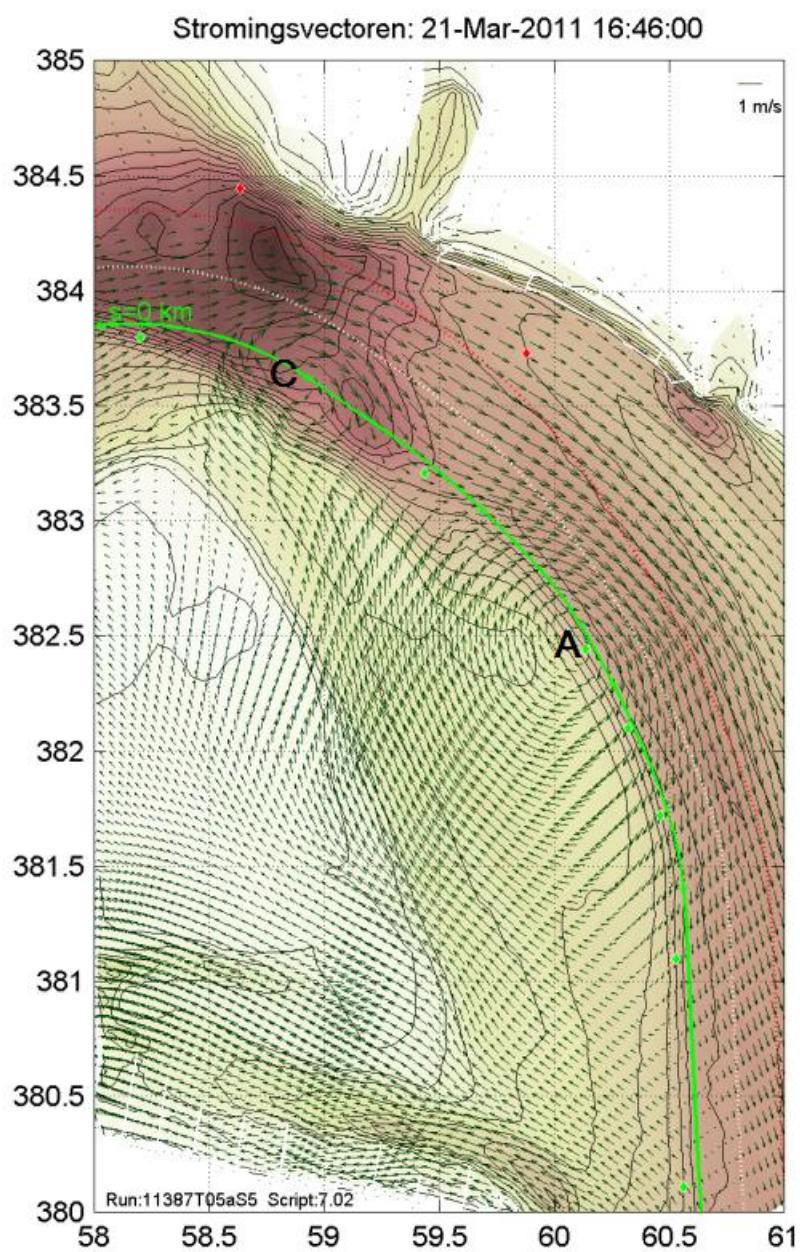
Figuur Bijlage H-2: Neervorming met bathymetrie van scenario band 2 (verhoging langs de plaatrand). Versterking van neer A vanwege de vloedstroom uit de Schaar van Ossensisse.



Figuur Bijlage H-3: Neervorming met bathymetrie van scenario band 2 (verhoging langs de plaatrand). Versterking en voortplanting van neer A, gelijktijdig ontstaan van neren B en C.



Figuur Bijlage H-4: Neervorming met bathymetrie van scenario band 2 (verhoging langs de plaatrand). Opwaartse voortplanting van neer A, demping van neer B, verplaatsing van neer C.



Figuur Bijlage H-5: Neervorming met bathymetrie van de scenario band 2 (verhoging langs de plaatrand). Ligging van neren A en C op hetzelfde tijdstip als Figuur Bijlage G-5