

IMMERSE Morfologisch beheer Schelde

Eindrapportage

Havenbedrijf Antwerpen NV

RAPPORT 04 mei 2022 - versie 2.0



Colofon

International Marine & Dredging Consultants <u>Adres</u>: Van Immerseelstraat 66, 2018 Antwerpen, België *****: + 32 3 270 92 95 <u>Email</u>: info@imdc.be <u>Website</u>: www.imdc.be

Document Identificatie

Project	IMMERSE Morfologisch beheer Schelde
Titel rapport	Eindrapportage
Opdrachtgever	Havenbedrijf Antwerpen NV
Contactpersoon	Cynthia Pauwels, +32 3 229 7056, cynthia.pauwels@portofantwerp.com
Datum	04/05/22
Rapportref.	I/RA/11645/22.057/TWO/,
Rapportlocatie	K:\PROJECTS\11\11645_P018697-IMMERSE_Morfologisch_beheer_Schelde\10- Rap\RA22057-IMMERSE Morfologisch beheer Schelde_Scenario_bundel_v2.0.docx

Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
Thom Wolf	Alexander Breugem	Gijsbert van Holland
Project Ingenieur	Senior Ingenieur	Hoofdingenieur
	Davy Depreiter	
	GeoHydroData NV	

Copyright © IMDC 2022, Alle rechten voorbehouden. Deze publicatie of delen mogen niet worden gekopieerd, gereproduceerd of verzonden in welke vorm of op welke manier dan ook, digitaal of anderszins zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van IMDC. De inhoud van deze publicatie zal door de klant vertrouwelijk worden behandeld, tenzij anders schriftelijk overeengekomen. Verwijzing naar een deel van deze publicatie dat tot verkeerde interpretatie kan leiden, is verboden.

Classificatie			
niet geclassificeerd	intern	X beperkt	confidentieel

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	06/04/22	Concept Eindrapportage	TWO	ABR	GVH
2.0	04/05/22	Finaal,gereviseerd volgens DRF I/QU/11645/22.040/GVH dd 27/4/22			

Inhoudsopgave

1	Inleiding	16
1.1	De Opdracht	16
1.2	Doel van het rapport	17
2	Modellering	18
2.1	Modelopzet	18
2.2	Modelvalidatie	21
2.2.1	Morfodynamica	21
2.2.2	Ecoptopenkaart	27
2.3	Conclusie	30
3	Beschrijving scenario's	32
3.1	Referentiescenario	32
3.2	Scenario 1	34
3-3	Scenario 2	36
3.4	Scenario 3	38
3.5	Scenario 4	42
3.6	Scenario 5	45
4	Resultaten	48
4.1	Invloed op waterstand, stroomsnelheden, bodemschuifspanningen en debieten	48
4.1.1	Referentiescenario	48
4.1.2	Scenario 1	51
4.1.3	Scenario 2	58
4.1.4	Scenario 3	65
4.1.5	Scenario 4	72
4.1.6	Scenario 5	79
4.2	Invloed op bodemontwikkelingen, sedimentatie/erosie	86
4.2.1	Scenario 1	86
4.2.2	Scenario 2	89
4.2.3	Scenario 3	92
4.2.4	Scenario 4	95
4.2.5	Scenario 5	99
4.3	Invloed op scheepvaart (diepgang, dwarsstroming)	102
4.3.1	Scenario 1	103
4.3.2	Scenario 2	106
4.3.3	Scenario 3	109
4.3.4	Scenario 4	112
4.3.5	Scenario 5	115
4.4	Natuurlijkheid	118
4.4.1	Referentiesimulatie	118

4.4.2	Scenario 1	119
4.4.3	Scenario 2	120
4.4.4	Scenario 3	121
4.4.5	Scenario 4	122
4.4.6	Scenario 5	123
4.5	Veiligheid (hoogwater, getijslag)	124
4.5.1	Scenario 1	124
4.5.2	Scenario 2	126
4.5.3	Scenario 3	128
4.5.4	Scenario 4	130
4.5.5	Scenario 5	132
4.6	Onderhoudsbehoefte (baggervolumes)	134
4.6.1	Scenario 1	134
4.6.2	Scenario 2	135
4.6.3	Scenario 3	135
4.6.4	Scenario 4	135
4.6.5	Scenario 5	135
5	Samenvatting van de resultaten	137
5.1	Scenario 1	137
5.2	Scenario 2	138
5-3	Scenario 3	139
5.4	Scenario 4	140
5.5	Scenario 5	142
6	Conclusies, discussie en aanbevelingen	144
6.1	Conclusie doelstellingen per scenario	144
6.1.1	Het behouden/ verbeteren van de waterveiligheid langsheen het estuarium (beperken van getijdoordringing & getijslag).	144
6.1.2	Scenario 1	144
6.1.3	Scenario 2	145
6.1.4	Scenario 3	145
6.1.5	Scenario 4	146
6.1.6	Scenario 5	147
6.2	Bevindingen op basis van resultaten	147
6.3	Bevindingen op basis van expert judgement	148
7	Referenties	152

Bijlagen

Bijlage A	Brier skill score	154
Bijlage B	Extra figuren validatie	156
Bijlage C	Kaarten Geologie Westerschelde	158
Bijlage D	Tijdseries waterstanden	160
Bijlage E	Tijdseries debiet [m³/s] door raaien	166
Bijlage F	Langs- en dwarssnelheden langs tracé hoofd- en nevengeul	192

Lijst van Tabellen

Tabel 2-1 Modelinstellingen voor hydrodynamica (benamingen in Engels).	20
Tabel 2-2 Modelinstellingen voor morfodynamica (benamingen in Engels).	20
Tabel 2-3 Overzicht met classificaties van de Brier Skill Score (BSS). Overgenomen uit Sutherland et al. (2004).	. 24
Tabel 2-4 Overzicht met statistische parameters, berekend met gesimuleerde en gemeten bodemverandering per polygoon.	en 24
Tabel 2-5 Berekende oppervlaktes $[m^2]$ van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario.	29
Tabel 4-1 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 1 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.	57
Tabel 4-2 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 1 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.	57
Tabel 4-3 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 2 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.	64
Tabel 4-4 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 2 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.	64
Tabel 4-5 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 3 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.	71
Tabel 4-6 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 3 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.	71
Tabel 4-7 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 4 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.	78
Tabel 4-8 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 4 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.	78
Tabel 4-9 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 5 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.	85
Tabel 4-10 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 5 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.	r 85
$Tabel \ 4-11 \ Berekende \ oppervlaktes \ [m^2] \ van \ ecotopen \ en \ laag-dynamisch \ gebied \ voor \ het \ referenties \ cenario.$	118
Tabel 4-12 Berekende oppervlaktes [m ²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario e scenario 1.	en 119
Tabel 4-13 Berekende oppervlaktes [m ²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario e scenario 2.	en 120
Tabel 4-14 Berekende oppervlaktes [m ²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario o scenario 3.	en 121
Tabel 4-15 Berekende oppervlaktes [m ²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario e scenario 4.	en 122

Tabel 4-16 Berekende oppervlaktes [m ²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario scenario 5.	en 123
Tabel 4-17 Volumeberekeningen [m ³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.	134
Tabel 4-18 Volumeberekeningen [m ³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.	135
Tabel 4-19 Volumeberekeningen [m ³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.	135
Tabel 4-20 Volumeberekeningen [m ³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.	135
Tabel 4-21 Volumeberekeningen [m ³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.	136
Tabel 7-1 Overzicht met classificaties van de Brier skill score (BSS). Overgenomen uit Sutherland et al. (2004).	155

Lijst van Figuren

Figuur 1-1 Overzichtskaart projectgebied (1 van 2). Bron: (IMDC, 2020). 1	6
Figuur 1-2 Overzichtskaart projectgebied (2 van 2). Bron: (IMDC, 2020).	17
Figuur 2-1 Aangepast en verfijnd rekenrooster van het Scheldemodel rond het projectgebied Hansweert-Bath. 1	8
Figuur 2-2 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in 2019 rond het projectgebied Hansweert-Bath voor de start van de validatiesimulatie. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van bathymetrie. Zwarte lijn (resp. stippellijn) toont hoofdvaargeul (resp. indicatieve nevenvaargeul).	19
Figuur 2-3 Laagdikte van zand boven de niet-erodeerbare laag in het Scheldemodel (gebaseerd op een dataset(S.H.L.L. Gruijters et al., 2004) en locaties van harde structuren (Van der Vegt et al., 2019)).	19
Figuur 2-4 The spatially varying Nikuradse bottom roughness field [m] of the Scheldt model.	21
Figuur 2-5 Gemeten bathymetrie [m TAW] 2019 in het projectgebied Hansweert-Bath (geïnterpoleerd op het Scheldemodel rekenrooster). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (indicatieve nevenvaargeul).	25
Figuur 2-6 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (indicatieve nevenvaargeul).	25
Figuur 2-7 Gemeten bathymetrie [m TAW] 2020 in het projectgebied Hansweert-Bath (geïnterpoleerd op het Scheldemodel rekenrooster). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	26
Figuur 2-8 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruin (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie	e 26
Figuur 2-9 Geobserveerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 (exclusief vaargeul, grijs vlak met zwarte omlijning). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. 2	27
Figuur 2-10 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 (exclusief hoofdvaargeul, grijs vlak mer zwarte omlijning). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijninger geven de zes berekeningspolygonen weer.	t n 27
Figuur 2-11 Grenzen tussen de verschillende ecotopen volgens (INBO, 2016) 2	8
Figuur 2-12 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van het referentiescenario.	:9
Figuur 2-13 Ecotopenkaart Westerschelde 2018 Macrocel 5 van Monitoringprogramma Flexibel Storten Voortgangsrapportage 2018-2019: Data- en analyserapport. Bron: 11498_006- 010_200710_ECO_WES2018_fig6-10 Datum: 10/07/2020Rapport nr. I/RA/11498/20.096/MMO	;0



Figuur 3-1 Bodemligging projectgebied in 2009 (linksboven), 2019 (rechtsboven) en verschilplot bodem 2019- 2009 (onder).	32
Figuur 3-2 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] van de 2009 nevengeulbathymetrie onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.	ו 33
Figuur 3-3 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] van de 2019 nevengeulbathymetrie onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.	33
Figuur 3-4 Ingrepen bij scenario 1 (scenario Walsoorden).	34
Figuur 3-5 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scenar 1. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 referentiescenario bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toopt boofdvaarreul (griginele indicatieve nevenvaargeul)	rio 25
Figuur 3-6 Ingrepen bij scenario 2 (scenario Valkenisse).	36
Figuur 3-7 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scena	rio
 Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 referentiescenario bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 	37
Figuur 3-8 Vergelijking oppervlakte van geuldoorsnedes onder o [m TAW] langs tracé van de nevengeul in de jaren 2009, 2015 en 2019.	38
Figuur 3-9 Bodemligging nevengeul in 2015 versus 2019 (referentie)	39
Figuur 3-10 Ingrepen bij scenario 3 (bodemcontouren) op de bathymetrie van 2019 (referentie). De arcering geeft bijkomende verdieping Schaar van Waarde weer.	40
Figuur 3-11 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 3 onder o TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.	[m 40
Figuur 3-12 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scena 3. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van scenario 3 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toor hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	ario 1t 41
Figuur 3-13 Bodemligging nevengeul in 2009 versus 2019 (referentie)	42
Figuur 3-14 Ingrepen bij scenario 4 (bodemcontouren) op bathymetrie van 2019 (referentie).	43
Figuur 3-15 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 3 onder o TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.	[m 44
Figuur 3-16 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scena 4. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van scenario 4 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toor hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	ario nt 44
Figuur 3-17 Bodemligging nevengeul in 2009 versus 2019 (referentie)	45
Figuur 3-18Scenario 5 bodemcontouren en bathymetrie.	46
Figuur 3-19 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 5 onder 0 TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.) [m 47
Figuur 3-20 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scen 5. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van scenario 5 bathymetrie.	ario 47
Figuur 4-1 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [-] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende ee spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.	n 48
Figuur 4-2 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.	49
Figuur 4-3 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.	49
Figuur 4-4 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus r referentiescenario bodem.	net 50
Figuur 4-5 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclu met referentiescenario bodem.	us 50

Figuur 4-6 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1. 51
Figuur 4-7 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1. 52
Figuur 4-8 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1. 52
Figuur 4-9 Verschil (scenario 1 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 53
Figuur 4-10 Verschil (scenario 1 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 53
Figuur 4-11 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 1 bodem.
Figuur 4-12 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 1 bodem. 54
Figuur 4-13 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied. 55
Figuur 4-14 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 1 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 1 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert. 56
Figuur 4-15 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 1 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 1 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert. 56
Figuur 4-16 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2. 58
Figuur 4-17 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2. 59
Figuur 4-18 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2. 59
Figuur 4-19 Verschil (scenario 2 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 60
Figuur 4-20 Verschil (scenario 2 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 60
Figuur 4-21 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 2 bodem. 61
Figuur 4-22 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 2 bodem. 61
Figuur 4-23 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied. 62
Figuur 4-24 Linker y-as: Totale ebvolumes [m ³] van het huidige scenario 2 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m ³] tussen scenario 2 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert. 63
 Figuur 4-25 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 2 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 2 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

Eindrapportage - 9



Figuur 4-26 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [-] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3. 65
Figuur 4-27 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3. 66
Figuur 4-28 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3. 66
Figuur 4-29 Verschil (scenario 3 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 67
Figuur 4-30 Verschil (scenario 3 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 67
Figuur 4-31 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 3 bodem. 68
Figuur 4-32 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 3 bodem. 68
Figuur 4-33 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied. 69
Figuur 4-34 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 3 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 3 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.70
Figuur 4-35 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m ³] van het huidige scenario 3 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m ³] tussen scenario 3 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert. 70
Figuur 4-36 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4. 72
Figuur 4-37 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4. 73
Figuur 4-38 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4. 73
Figuur 4-39 Verschil (scenario 4 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 74
Figuur 4-40 Verschil (scenario 4 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul). 74
Figuur 4-41 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 4 bodem. 75
Figuur 4-42 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 4 bodem. 75
Figuur 4-43 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied. 76
Figuur 4-44 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 4 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 4 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.77
Figuur 4-45 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m ³] van het huidige scenario 4 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m ³] tussen scenario 4 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert. 77

Figuur 4-46 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.	e 79
Figuur 4-47 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.	80
Figuur 4-48 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.	j 80
Figuur 4-49 Verschil (scenario 5 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originel indicatieve nevenvaargeul).	le 81
Figuur 4-50 Verschil (scenario 5 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ied rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originel indicatieve nevenvaargeul).	ler le 81
Figuur 4-51 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 5 bodem.	82
Figuur 4-52 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cycle met scenario 5 bodem.	lus 82
Figuur 4-53 Overzicht met locaties van debietraaien (rode lijnen) in het projectgebied geplot bovenop de referentiebathymetrie.	83
Figuur 4-54 Linker y-as: Totale ebvolumes [m ³] van het huidige scenario 5 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m ³] tussen scenari 5 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.	e io 84
Figuur 4-55 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m ³] van het huidige scenario 5 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m ³] tussen scenario 5 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.] 84
Figuur 4-56 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetr Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	i na rie. 87
Figuur 4-57 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	na 87
Figuur 4-58 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.	88
Figuur 4-59 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 1. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygoner weer.	n 88
Figuur 4-60 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	ו 90
Figuur 4-61 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	na 90
Figuur 4-62 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.	91
Figuur 4-63 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 2. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygoner	n
weer. Figuur 4-64 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath	91 ו
na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	93

Figuur 4-65 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bathen morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	h na • 93
Figuur 4-66 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.	94
Figuur 4-67 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 3. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygone weer.	en 94
Figuur 4-68 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bat na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	h 96
Figuur 4-69 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bat na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymet Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	h trie. 96
Figuur 4-70 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.	97
Figuur 4-71 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 4. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygone weer.	en 97
Figuur 4-72 Evolutie van de modelbodem [m TAW] van scenario 4 doorheen het gesimuleerde jaar van 2019, geëvalueerd langsheen een raai bij het uiteinde van de nevengeul (sub-figuur toont locatie met startbathymetrie van scenario 4).	98
Figuur 4-73 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymet Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).	n na :rie. 100
Figuur 4-74 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Batl een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.	h na 100
Figuur 4-75 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.	101
Figuur 4-76 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 5. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygone weer.	en 101
Figuur 4-77 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn voor scenario 1 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.	n) 103
Figuur 4-78 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymet Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] nivea	n na Trie. au.104
Figuur 4-79 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] nivea	ו na י au.104
Figuur 4-80 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenar Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.	rio. 105
Figuur 4.84 Maximale diaptagemiddelde dwarsspelbeid [m/s] op de talweg van de pevengeul met	

Figuur 4-81 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario.105

- Figuur 4-82 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 2 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk. 106
- Figuur 4-83 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.107
- Figuur 4-84 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.107
- Figuur 4-85 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.
- Figuur 4-86 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario.108
- Figuur 4-87 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 3 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk. 109
- Figuur 4-88 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.110
- Figuur 4-89 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.110
- Figuur 4-90 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.
- Figuur 4-91 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario. 111
- Figuur 4-92 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 4 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.
- Figuur 4-93 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.113
- Figuur 4-94 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.113
- Figuur 4-95 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.
- Figuur 4-96 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario.
- Figuur 4-97 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 5 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.

- Figuur 4-98 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.116
- Figuur 4-99 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.116
- Figuur 4-100 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario. 117 Figuur 4-101 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario. 117 Figuur 4-102 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van het referentiescenario. 118 Figuur 4-103 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 1. 119 Figuur 4-104 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 2. 120 Figuur 4-105 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 3. 121 Figuur 4-106 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 4. 122 Figuur 4-107 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 5. 123 Figuur 4-108 Linker v-as: Getii-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getiicondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario. 174 Figuur 4-109 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario. 125 Figuur 4-110 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario. 125 Figuur 4-111 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario. 126 Figuur 4-112 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario. 127 Figuur 4-113 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario. 127 Figuur 4-114 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario. 128 Figuur 4-115 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens hoogwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario. 129 Figuur 4-116 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het
- Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m
 129

 TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario.
 129

 Figuur 4-117 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getij-amplitude [m TAW]

130

14 - versie 2.0 - 4/05/2022

tussen scenario 4 en het referentiescenario.

1 Inleiding

1.1 De Opdracht

Het Havenbedrijf Antwerpen (hierna te benoemen: de klant) heeft IMDC aangesteld om een studie uit te voeren naar de haalbaarheid van een duurzame (holistische) morfologische beheerstrategie in de Westerschelde in de zone Hansweert-Bath (Figuur 1-1 en Figuur 1-2). Hierbij dient gekeken te worden de huidige problematiek van de bevaarbaarheid van de nevengeulen in dit gebied. In deze studie worden alternatieve morfologische beheeringrepen onderzocht door middel van het inzetten van het numerieke morfodynamische Scheldemodel. Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in effecten van potentiële morfologische beheersconcepten door middel van scenario-analyse. Het uitwerken van concreet implementeerbare beheersmaatregelen hoort expliciet niet tot het doel van deze studie. De punten die per scenario worden geëvalueerd om te toetsen of ingrepen holistisch zijn, worden hieronder weergegeven:

- Een (her)activering van nevengeulen middels een debietstoename.
- Het behouden/ verbeteren van de bevaarbaarheid en het onderhoud van nevengeulen.
- Het behouden/ toenemen van ecologisch waardevol areaal.



• Het behouden/ verbeteren van de waterveiligheid langsheen het estuarium (beperken van getijdoordringing & getijslag).

Figuur 1-1 Overzichtskaart projectgebied (1 van 2). Bron: (IMDC, 2020).



Figuur 1-2 Overzichtskaart projectgebied (2 van 2). Bron: (IMDC, 2020).

1.2 Doel van het rapport

In dit rapport zijn de gepresenteerde resultaten van de validatienota en scenarionota's samengevoegd tot één document, waarbij daarnaast een overkoepelende slotdiscussie is toegevoegd. Allereerst wordt de modelopzet van de huidige studie getoond, waarna de uitgevoerde morfologische validatierun wordt weergegeven en besproken (hoofdstukken 2 en 2.2). Hierna worden de resultaten van scenario 1 tot en met 5 getoond (hoofdstukken 3, 4 en 5). Er dient opgemerkt te worden dat de scenario's in deze studie iteratief zijn uitgevoerd. Dit houdt in dat er na het uitvoeren en evalueren van elk scenario, er door middel van *expert judgement* een nieuw scenario is aangedragen om, na overleg met de klant, te simuleren. Op deze wijze zijn in totaal 5 scenario's uitgevoerd. Als afsluiting van deze studie worden in dit rapport de algemene scenario conclusies, een discussie en aanbevelingen getoond (hoofdstukken 5 en 6).

2 Modellering

2.1 Modelopzet

Voor het uitvoeren van de door IMDC voor te stellen scenario's, zal gebruik worden gemaakt van het gevalideerde numerieke Scheldemodel (IMDC, 2019a, 2019b, 2021a). Dit model is ontwikkeld in TELEMAC-3D (versie 8.1) en werd recent verbeterd en succesvol gevalideerd (IMDC, 2021a).

Voor de voorliggende studie is een afgeleide van dit model ontwikkeld dat in staat is om, gekoppeld met de GAIA module, de morfodynamica in het rond het projectgebied van Hansweert tot Bath op de tijdschaal van een volledig jaar realistisch te simuleren. Hiervoor is het rekenrooster van het model lokaal aangepast en verfijnd rond het projectgebied (Figuur 2-1) met een resolutie tot 20 [m]. Met de huidige verfijningen inbegrepen bevat het model in het horizontale vlak 211,565 rekenpunten en 395,499 elementen.



Figuur 2-1 Aangepast en verfijnd rekenrooster van het Scheldemodel rond het projectgebied Hansweert-Bath.

Als startbodem wordt gebruik gemaakt van een bathymetrische dataset met opmetingen uit 2019 (resolutie van 5x5 [m], (Vanlede *et al.*, 2020)), die op het nieuwe rekenrooster is geïnterpoleerd (Figuur 2-2). Hiernaast zijn lokale bodemverhogingen toegepast op locaties waar zich kribben en strekdammen plaatsvinden.

Modelinstellingen van het huidig ingezette Scheldemodel worden getoond in Tabel 2-1 en Tabel 2-2. Op basis van boxcores en beunstalen uit het projectgebied is gekozen voor een representatieve d_{50} van 155 [µm] van de niet-cohesieve zandfractie in het model. Hier dient opgemerkt te worden dat het zand in de hoofdvaargeul gemiddeld gezien een grovere korreldiameter heeft rond 200 – 250 [µm] (McLaren, 1994), waardoor morfologische verandering hier in het model sterker naar voren komen dan in realiteit. Gebaseerd op een dataset van (S.H.L.L. Gruijters *et al.*, 2004) en

kennis van lokale harde structuren in de Westerschelde (Van der Vegt *et al.*, 2019) is een initieel veld met variërende laagdikte van het zandpakket aangebracht (Figuur 2-3). Hierbij worden de harde structuren als niet-erodeerbaar beschouwd.



Figuur 2-2 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in 2019 rond het projectgebied Hansweert-Bath voor de start van de validatiesimulatie. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van bathymetrie. Zwarte lijn (resp. stippellijn) toont hoofdvaargeul (resp. indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 2-3 Laagdikte van zand boven de niet-erodeerbare laag in het Scheldemodel (gebaseerd op een dataset (S.H.L.L. Gruijters *et al.*, 2004) en locaties van harde structuren (Van der Vegt *et al.*, 2019)).

In deze studie is ervoor gekozen om regulier onderhoud zoals bagger-stort processen niet op te nemen in de validatieberekeningen en verdere scenarioberekeningen. Er is namelijk de verwachting dat over een periode van 1 jaar de bodemveranderingen door deze processen relatief beperkt zijn en dat de karakteristieken van het systeem behouden blijven. Evenwel wordt verwacht dat gezien de keuze van een enkele korrelgrootte van 155µm (zie hierboven) de morfologische veranderingen in de hoofdgeul minder realistisch worden gereproduceerd door het model.

Parameter	Value
Time step	30 s
Initial conditions	Spin-up conditions for water levels,
	currents and interpolated salinity field
Number of vertical nodes	5 (3D model, layers at 0%, 12%, 30%, 60%
	and 100 % of the water depth)
Version TELEMAC	TELEMAC-3D (version 8.1 Goblin shark)
Salt transport	On
Wind	Off
Roughness formula	Nikuradse
Bed roughness value	Spatially varying roughness field (Figuur
	2-4)
Vertical turbulence model	6: GOTM (using K-epsilon model with
	second order closure for the buoyancy
	flux)
Horizontal turbulence model	4: Smagorinski
Scheme for advection of velocities	1: characteristics
Solver for propagation	1: conjugate gradient

Tabel 2-1 Modelinstellingen voor hydrodynamica (benamingen in Engels).

Tabel 2-2 Modelinstellingen voor morfodynamica (benamingen in Engels).

Parameter (keywords GAIA)	Value
Finite volumes	YES
Tidal flats	YES
Minimal value of the water height	0.5 [m]
Number of sediment fractions	1
Classes type of sediment	NCO;
Classes sediment density	2650.0 [kg/m³]
Classes sediment diameters	155 [µm]
Bed load for all sands	YES
Bed-load transport formula for all sands	30 (Engelund-Hansen, total load equation)
Skin friction correction	1
Formula for slope effect	1 (Koch and Flokstra, default β =1.3)
Formula for deviation	1 (Koch and Flokstra)
Sediment slide	YES (critical angle 11 degree)
Layers non cohesive bed porosity	0.4 (default)
Active layer thickness	0.01[m]



Figuur 2-4 The spatially varying Nikuradse bottom roughness field [m] of the Scheldt model.

2.2 Modelvalidatie

2.2.1 Morfodynamica

Voor de modelvalidatie is ervoor gekozen de morfodynamische modelprestatie te toetsen aan de hand van een vergelijking met de geobserveerde bodemveranderingen in het jaar 2019 in de regio Hansweert-Bath. Deze bodemveranderingen zijn gevisualiseerd door de bathymetrische opmetingen uit 2019 te vergelijken met beschikbare opmetingen uit 2020. Bij morfodynamische simulatie wordt het eerste spring-doodtijcyclus (14 dagen) gebruikt voor het 'opwarmen' van de bodem. Dit houdt in dat de bodemveranderingen van de eerste 14 dagen niet worden meegenomen voor de bepaling van gesimuleerde bodemveranderingen.

Figuur 2-5 tot en met Figuur 2-8 tonen de gemeten en gesimuleerde bodemliggingen voor 2019 en 2020. Door de pagina's met Figuur 2-5 met Figuur 2-6 en Figuur 2-7 met Figuur 2-8 te vergelijken, is zichtbaar wat de grootschalige bodemveranderingen en migratierichtingen zijn in een jaar tijd (2019-2020). Figuur 2-7 en Figuur 2-8 tonen ook de evolutie van de -5 [m TAW] contour (bruine en rode lijnen). Dit is een indicatieve diepte die relevant is gezien de beoogde binnenvaart door de Scharen .

Uit de vergelijking kan worden geconcludeerd dat het model de belangrijkste morfologische trends die in de metingen worden waargenomen weergeeft.

De Plaat van Walsoorden ondergaat een sterke geometrische verandering waarbij de zuidoostpunt erodeert onder invloed van de westelijke migratie van de Schaar van Valkenisse. Hierdoor ontstaat ruimte voor sedimentatie langs de westzijde van de Platen van Valkenisse. Ook in het model zien we een verdere groei van de Plaat van Valkenisse langs de westzijde en erosie van de zuidoostpunt van de Plaat van Walsoorden. Aan de noordoostzijde breidt de Plaat van Walsoorden zich zowel in de metingen als in het model uit, al is de uitbreiding in het model veel beperkter dan in de metingen.

In de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse is bij zowel de observaties alsook bij het model een algehele migratie van bodemvormen zichtbaar in stroomopwaartse richting. Hierdoor lijkt ook de ingang van de Geul van Zimmerman zich zuidwaarts te verplaatsen en dicht te groeien. Vanuit Figuur 2-9 en Figuur 2-10 wordt ook duidelijk dat model en observaties voor het diepste punt (put) van de Schaar van Valkenisse dezelfde erosie- en depositiepatronen tonen, wat resulteert in een migratie stroomopwaarts.

De uitbreiding van de Plaat van Valkenisse in zuidwestelijke richting draagt bij aan het verondiepen van de Schaar van Valkenisse. Dit is een evolutie die zowel in de observaties als in het model waargenomen kan worden. Waar de Schaar van Valkenisse in de Overloop van Valkenisse stroomt, kan een versteiling van de geulwand worden waargenomen. De afzettingen zijn in het model echter veel sterker, wat in het model zelfs tot een lokale vernauwing van de hoofdvaargeul leidt.

Echter, er dient opgemerkt te worden dat er in het model niet wordt gebaggerd¹. In het model breidt de sedimentatiezone uit tot in de vaargeul. Door de uitbouw treedt contractie op waardoor naast de uitbouw verdieping optreedt in de vaargeul. Deze verdieping zorgt ervoor dat er lateraal minder druk is op de zuidelijke geulwand en ook dat het geërodeerde sediment uit de hoofdgeul zich elders afzet, waardoor er naast erosie ook sterke sedimentatie zichtbaar is. Uit baggergegevens van 2019 (IMDC, 2021b) blijkt echter dat er in dat jaar 0.84 M [m³] sediment (in-situ) is gebaggerd bij de Overloop van Valkenisse. Er vonden 5 baggercampagnes plaats (jan, mrt, jun, aug, nov) waarbij telkens een volume tussen de 0.11 en 0.26 M [m³] zand is gebaggerd. Omdat er niet wordt gebaggerd in het model, kan de afzetting boven -14,5m LAT vergeleken worden met het (gemiddelde) volume van een enkele baggercampagne. In werkelijkheid wordt dit sediment telkens verwijderd, en vindt opnieuw sedimentatie plaats. De hoeveelheid zand in de vaargeul bij Overloop van Valkenisse die boven -14.5 [m LAT] komt na een gesimuleerd jaar, bedraagt 0.2 M [m³]. Het merendeel van dit volume bestaat uit zand dat uit de Schaar van Valkenisse afkomstig is. De gesimuleerde hoeveelheid (boven -14,5 [m LAT]) komt goed overeen met de gemiddelde orde van grootte van de individuele campagnes van 2019. Er wordt echter opgemerkt dat het onderhoud wordt onderschat, omdat de zandkorrels in de hoofdgeul veel mobieler zijn vergeleken met de werkelijkheid.

Opmerkelijk zijn de relatief grote gesimuleerde bodemveranderingen in de vaargeul ter hoogte van de Overloop van Valkenisse (Bijlage A). Naast het ontbreken van baggerwerken in het model, kan het ontbreken van grover sediment dat in werkelijkheid in de hoofdgeul op de bodem aanwezig is, bijdragen aan sterkere gesimuleerde bodemontwikkelingen in de hoofdgeul. Dit heeft mogelijk ook een impact op de verder opwaarts gelegen zones (zie hieronder).

Een andere belangrijke trend die in de metingen wordt waargenomen langs de (zuid)westzijde van de Plaat van Walsoorden, is de ontwikkeling van de zandrug. In de metingen (en de modelresultaten) is ten noorden van de zandrug ook een lokale erosiezone zichtbaar. Waarschijnlijk betreft dit erosie van de zandstortingen die begin 2019 in deze zone hebben plaatsgevonden (Flexibel Storten Maandrapportage Januari 2019 (IMDC, 2019c)) en in de bodem van 2019 aanwezig zijn. Uit de frequente peilingen die in deze zone worden uitgevoerd (maandrapporten Flexibel Storten), blijkt dat zand uit de stortingen typisch in zuidwestelijke richting, dus naar de zandrug toe migreert. Beide aspecten worden ook door het model weergegeven, doch op licht verschillende locaties.

In de Schaar van Waarde wordt reeds sinds 2013 niet meer gestort. Toch treedt er in de ingang van deze schaar nog enige (lichte) verondieping op. Dit wordt zowel in de verschilbodem van de observaties, als in de modelresultaten terug gevonden. De Geul

¹ Er is daarom gekozen om de erosie- en depositiepatronen in de hoofdgeul niet weer te geven in Figuur 2-9 en Figuur 2-10. Voor de volledigheid zijn deze echter wel toegevoegd in Bijlage B.

Zimmerman neemt in omvang af. Dit uit zich door verdere verondieping vooral aan afwaartse als opwaartse kant van de geul. Deze tendens wordt ook in het model terug gevonden, waarbij vooral aan de afwaartse kant verondieping zichtbaar is. De sedimentatie die opwaarts plaatsvindt is echter verschillend.

Uit langetermijnobservaties blijkt een geleidelijke erosie langs de zuidrand van de hoofdgeul ter hoogte van het Verdronken Land van Saeftinghe. Tegenwoordig verloopt de terugschreiding van deze zuidrand redelijk traag, wat ook blijkt uit de verschilkaart van de peilingen. In het model zijn echter sterke bodemontwikkelingen te zien. De grillige vormen van de oever in de peilingen worden door het model uitgevlakt. Het huidige model maakt (naaste een voor de hoofdgeul relatief kleine D50) gebruik van niet-erodeerbare lagen gebaseerd op een dataset uit 2004 (S.H.L.L. Gruijters *et al.,* 2004). Echter, de exacte ligging en erodeerbaarheid van de verschillende geologische afzettingen is niet bekend. Mogelijk zijn er hier in werkelijkheid harde lagen die deze ontwikkelingen voorkomen of vertragen. Met name de formatie van Boxtel die langs de geulwand tussen het Verdronken Land van Saeftinghe en de Overloop van Valkenisse aan het oppervlakte komt (Bijlage C), bevat sediment met korrelgroottes tussen 100 – 450 [µm] en verschillende minder goed erodeerbare (veen en klei)lagen (Peters, 1995).

In Macrocel 6 is ter hoogte van SN61 zowel in de verschilkaart als in het model de ontwikkeling van een recente zandstorting (proefstorting) zichtbaar. Uit de eerder genoemde langetermijnobservaties blijkt ook dat de Plaat van Saeftinghe geleidelijk afvlakt, in de laatste jaren vooral langs de noordkant van de plaat, ten noorden van de Schaar van de Noord. In het model is echter vrij sterke aanzanding in de Schaar van de Noord gesimuleerd, wat mogelijk gelinkt kan worden met de beschikbaarheid van sediment uit de hoofdgeul. Ook hier geldt dat de in het model gehanteerde nieterodeerbare laag mogelijk niet accuraat is, waardoor er lokaal toch sterke sediment dynamiek kan optreden.

Naast de bovenstaande locaties met relatief realistisch nagebootste bodemveranderingen, toont het model in Macrocel 6 echter ook locaties waar de bodemveranderingen significant groter zijn dan gemeten (langs de zuidzijde van de hoofdgeul en in de Schaar van de Noord). Deze locaties zijn duidelijk zichtbaar in Figuur 2-9 en Figuur 2-10. Mogelijke verklaringen hiervoor zouden het ontbreken van reguliere baggerswerkzaamheden in de hoofd- (en neven)geul, alsook de aanwezigheid andere sedimenttypes kunnen zijn (e.g. grotere korreldiameter in de vaargeul of grotere klei fractie naarmate de locatie verder bovenstrooms ligt).

Brier Skill Score

Naast bovenstaande kwalitatieve analyse is er ook een meer kwantitatieve vergelijking gemaakt tussen gesimuleerde en geobserveerde bodemveranderingen voor een aantal interessegebieden rond de Plaat van Walsoorden, de Plaat van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Hiervoor zijn polygonen gedefinieerd welke worden weergegeven in Figuur 2-10. Aan de hand van een Brier Skill Score analyse (info in Tabel 2-3 en Bijlage A) kan worden opgemaakt dat er een duidelijk onderscheid is tussen locaties waar het model goed en minder goed presteert (Tabel 2-4). Met name in de regio's van de Schaar van Waarde (polygoon 2) en de Schaar van Valkenisse (polygoon 3) levert het model een goede prestatie. Daarentegen toont het model in de regio tussen de Schaar van Valkenisse en de Plaat van Valkenisse (polygoon 5) minder goede resultaten. Dit kan mede worden verklaard door de aanwezigheid van een kleine plaat met een hoogteligging tot bijna 1 [m TAW]. Deze plaat wordt door het model sterker in een bovenstroomse richting gestuwd dan dat daadwerkelijk is gemeten. Bij de Schaar van de Noord (polygoon 6) geeft het model een erg sterke aanzanding weer, wat zorgt voor een 2 tot 3 [m] hoge zandrug. Deze sterke aanzanding komt niet overeen met de relatief stabiele gemeten bodem bij de Schaar van de Waarde.

Hoewel de figuren met gesimuleerde resultaten een realistisch ogende aangroei van de Plaat van Walsoorden aan de westkant laten zien, waarbij de algemene sedimentatieen erosiepatronen overeenkomen met de observaties, geeft de *Brier Skill Score* (BSS) een minder positief beeld (zie resultaten in Tabel 2-4). Dit kan mogelijk komen doordat de exacte locaties van geobserveerde sedimentatie en erosie net verschillen van gesimuleerd locaties (faseverschil), waardoor een lage score wordt bereikt. Deze verschillende inzichten in modelperfomantie komen ook terug in andere studies (e.g. (Bosboom *et al.*, 2014)), waaruit blijkt dat afhankelijk van de eigenschappen van het morfodynamisch systeem, de *BSS* een negatieve modelevaluatie kan geven, die niet overeenkomt met het positieve beeld gevormd uit intuïtief visueel *expert judgement*. Een negatieve *BSS* betekent dus niet altijd dat het model slecht presteert, maar kan in bepaalde situaties er op duiden dat de berekeningswijze van de *BSS* onvoldoende rekening houdt met patronen waar op basis van expert judgement wel waarde aan wordt gehecht.

Tabel 2-3 Overzicht met classificaties van de Brier Skill Score (BSS). Overgenomen uit Sutherland et al. (2004).

Classification	Brier Skill Score (BSS)
Excellent	1.0 – 0.5
Good	0.5 – 0.2
Reasonable/fair	0.2 – 0.1
Poor	0.1 – 0.0
Bad	< 0.0

Tabel 2-4 Overzicht met statistische parameters, berekend met gesimuleerde en gemeten bodemveranderingen per polygoon.

Polygoon	Bias [m]	RMSE [m]	Correlation [-]	BSS [-]
1	0.03	0.99	0.51	-0.21 (Bad)
2	0.02	0.53	0.62	0.37 (Good)
3	0.03	0.91	0.64	0.26 (Good)
4	-0.08	0.71	0.50	0.04 (Poor)
5	0.01	1.31	0.35	-1.45 (Bad)
6	0.29	1.06	0.12	-6.20 (Bad)



Figuur 2-5 Gemeten bathymetrie [m TAW] 2019 in het projectgebied Hansweert-Bath (geïnterpoleerd op het Scheldemodel rekenrooster). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 2-6 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (indicatieve nevenvaargeul).







Figuur 2-8 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie



Figuur 2-9 Geobserveerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 (exclusief vaargeul, grijs vlak met zwarte omlijning). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 2-10 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 (exclusief hoofdvaargeul, grijs vlak met zwarte omlijning). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

2.2.2 Ecoptopenkaart

Het criterium natuurlijkheid kan beoordeeld worden aan de hand van meerdere criteria. Het oppervlakte laagdynamisch litoraal is een van de kwaliteitsparameter hiervoor. Het aanwezige laagdynamisch litoraal wordt tweejaarlijks bepaald in de ecotopenkaarten van de Westerschelde. In deze sectie wordt een vergelijkbare analyse uitgevoerd waarbij aan de hand van waterstandsgrenzen en stroomsnelheden een (beperkte) classificatie wordt toegepast om arealen in het projectgebied aan ecotopen toe te kennen.

In (INBO, 2016) worden de grenzen tussen water en litoraal (slik) vastgelegd op de 30 percentiel van de laagwaters (LW30). De grens tussen litoraal en supralitoraal (waarvan schor deel uitmaakt) is vastgelegd op het 85 percentiel van de hoogwaters (HW85). Subtidaal strekt zich uit onder het litoraal. Een samenvatting hiervan wordt getoond in Figuur 2-11. De afleiding van deze percentielen wordt gebaseerd op waterstandstijdreeksen van vier jaar.

Dezelfde percentielen zijn toegepast op de modelresultaten om onderscheid te maken tussen litoraal, supralitoraal en sublitoraal. De gesimuleerde alternatieven en bouwstenen zijn echter doorgerekend voor een springtij-doodtijcyclus.



Figuur 2-11 Grenzen tussen de verschillende ecotopen volgens (INBO, 2016)

Gebaseerd op (Verheyen, 2018) wordt een grenssnelheid van 0.6 [m/s] van maximale dieptegemiddelde stroming tijdens een karakteristiek springtij gehanteerd om een onderscheid te maken tussen laag- en hoogdynamische gebieden.

Referentiesimulatie

Figuur 2-12 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de referentie startbodem. In Tabel 2-5 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 2-12 in beschouwing is genomen.

Туре	Referentiescenario		
Supralitoraal	7.07E+06 [m ²]		
Litoraal	2.46E+07 [m ²]		
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]		
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]		

Tabel 2-5 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario.

De in deze studie toegepaste methodiek voor de berekening van ecotopen-areaal is bedoelt om een objectieve vergelijking tussen de scenario's mogelijk te maken. Het is niet de bedoeling om met de methodiek de officiële ecotopenkaarten exact te reproduceren. Wel kan er hier een vergelijking worden gemaakt om zicht te krijgen op de op de toepasbaarheid ervan. Figuur 2-13 toont een ecotopenkaart van het projectgebied (Macrocel 5) in 2018 (bron: van Monitoringprogramma Flexibel Storten Voortgangsrapportage 2018-2019). Hieruit wordt duidelijk dat de locaties van met name sublitoraal en litoraal areaal goed overeenkomen. Ook het onderscheid tussen laagdynamisch en hoogdynamisch litoraal gebied op de platen van Walsoorden en Valkenisse wordt in beide figuren gelijkaardig weergegeven. Echter toont het supralitorale areaal in het model een iets kleinere omvang op de Plaat van Walsoorden, wat mogelijkerwijs kan komen door de verschillende definities van ecoptopen en het feit dat er een jaar verschil is tussen de getoonde data in de figuren (2019 en 2018).



Figuur 2-12 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van het referentiescenario.



Figuur 2-13 Ecotopenkaart Westerschelde 2018 Macrocel 5 van Monitoringprogramma Flexibel Storten Voortgangsrapportage 2018-2019: Data- en analyserapport. Bron: 11498_006-010_200710_ECO_WES2018_fig6-10 Datum: 10/07/2020Rapport nr. I/RA/11498/20.096/MMO

2.3 Conclusie

Middels de uitgevoerde validatie kan worden geconcludeerd dat het Scheldemodel in staat is om de algehele migratierichtingen van de bodemvormen in Macrocel 5, het gebied rond de scharen en de platen van Walsoorden en Valkenisse, na te bootsen. Gezien de onnauwkeurigheden in het model rond de Schaar van de Noord is het momenteel minder zinvol om het in te zetten voor alternatieven op deze locatie. Hiervoor zullen eerst verbeteringen aan het model nodig zijn.

Belangrijke trends zijn zichtbaar in de modelresultaten en verschillen in bijvoorbeeld de hoofdgeul kunnen worden herleidt naar de vereenvoudigingen in de modelopzet, zoals het gebruik van een enkele korreldiameter en het niet meenemen van de onderhoudsbaggerwerken. Daarnaast zijn er ook de nodige onzekerheden omtrent de exacte ligging van de harde laag (grind/klei).

Er zijn echter locaties, zoals de hoofdvaargeul nabij Valkenisse en de Schaar van de Noord, waar onrealistische bodemveranderingen plaatsvinden. Bij de vaargeul kan dit mogelijk komen door het ontbreken van reguliere baggerswerkzaamheden en moeilijk erodeerbare sediment (formatie van Boxtel). Verder zou de aanwezigheid van enkel een fijne fractie zand ($d_{50} = 155 [\mu m]$) ervoor zorgen dat morfologische ontwikkelingen op locaties zoals de hoofdgeul worden overschat. Ook bij de Schaar van de Noord kan dit mogelijk komen door niet accurate ligging van de niet-erodeerbare lagen in het model. Hierdoor dienen vooral in Macrocel 6 de ontwikkelingen ten gevolge van gesimuleerde scenario's met extra aandacht te worden geïnterpreteerd. Onderzoek naar de ligging van de harde laag was echter geen onderwerp van deze studie. De harde laag is daarom niet verder aangepast om een mogelijke verbetering op de

resultaten te bekomen. De harde laag wordt echter wel gezien als belangrijk bron van onzekerheid.

Om de effecten van scenario's te analyseren, zal een comparatieve analyse worden ingezet. Hierbij zal op basis van expert judgement voornamelijk worden gefocust op veranderingspatronen van erosie/ sedimentatie in plaats van daadwerkelijke volumeverschillen. Daarnaast zal *expert judgement* worden toegepast om de berekende veranderingen tussen hydrodynamische scenario-simulaties te vertalen naar morfodynamische implicaties, welke vergeleken kunnen worden met resultaten van uitgevoerde morfodynamische simulaties.

3 Beschrijving scenario's

3.1 Referentiescenario

In de huidige nota worden onder meer resultaten van het referentiescenario getoond. Bij dit scenario is zowel een hydrodynamische simulatie alsook een morfodynamische simulatie uitgevoerd, met periodes van 15 dagen en 365 dagen, respectievelijk.

De hydrodynamische simulatie betreft de periode van 23-maart-2019 tot en met o8april-2019. De morfodynamische simulatie betreft het jaar 2019, waar net zoals bij de validatiesimulatie een volledig jaar wordt doorgerekend zonder het gebruik van een morfologische acceleratiefactor. Deze zelfde periodes worden ook ingezet bij de verdere scenarioberekeningen.

Figuur 3-1 toont de historische situatie van 10 jaar geleden. De situatie is gebruikt als streefbeeld bij de ontwikkeling van de scenario's. Dwarsdoorsneden van de 2009 en 2019 nevengeulbodems (Figuur 3-2 en Figuur 3-3) tonen aan dat het dwarsoppervlak van de nevengeul vlak voor de samenvloeiing met de hoofdgeul bij de Overloop van Hansweert 4300 á 4400 [m²] bedraagt.



Figuur 3-1 Bodemligging projectgebied in 2009 (linksboven), 2019 (rechtsboven) en verschilplot bodem 2019-2009 (onder).



Figuur 3-2 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] van de 2009 nevengeulbathymetrie onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.



Figuur 3-3 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] van de 2019 nevengeulbathymetrie onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.

3.2 Scenario 1

Het huidig voorgestelde scenario 1 heeft als doel om de Schaar van Waarde te verdiepen en de Plaat van Walsoorden terug naar zijn oorspronkelijke vorm van 10 jaar geleden te krijgen (Figuur 3-1). In overleg met de klant zijn de onderstaande acties gedefinieerd (Figuur 3-4) en in het Scheldemodel geïmplementeerd om het bovenstaande doel te bereiken:

- Verdiepen van de toegang Schaar van Waarde
- Versterken van de (zuid-)oostzijde van Plaat van Walsoorden doormiddel van ophoging en verbreding van de plaatrand
- Versterken van de westzijde van Plaat van Valkenisse doormiddel van ophoging van de plaatrand

De beoogde effecten van deze ingrepen zijn:

- Toename van het vloeddebiet door nevengeul
- Keren van de sedimenterende trend Schaar van Waarde
- Oostwaartse migratie bevorderen van de gehele nevengeul richting de Plaat van Valkenisse
- Keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden



Figuur 3-4 Ingrepen bij scenario 1 (scenario Walsoorden).

Model aanpassingen Scenario 1

De bodemveranderingen die aangebracht worden het Scheldemodel voor het huidige scenario worden getoond in Figuur 3-5. Dit toont aan dat er louter een bodemverhoging plaatsvindt aan de oostkant van de Plaat van Walsoorden en aan de westkant van de Plaat van Valkenisse en louter een bodemverlaging bij de ingang van



de Schaar van Waarde. Het totale gestorte volume bedraagt 6.0 M $[m^3]$ en het totale gebaggerde volume 0.7 M $[m^3]$.

Figuur 3-5 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scenario 1. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 referentiescenario bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).

3.3 Scenario 2

Het huidig voorgestelde scenario 2 heeft als doel om de Plaat van Valkenisse te verjongen, door meer dynamisch intergetijdengebied te creëren. In overleg met de klant zijn de onderstaande acties gedefinieerd (Figuur 3-6) en in het Scheldemodel geïmplementeerd om het bovenstaande doel te bereiken:

- Aanleg van een nieuwe nevengeul aan de oostzijde van de huidige nevengeul tot een niveau van -4 [m TAW]
- Versterken van de (zuid-)oostzijde van Plaat van Walsoorden

De beoogde effecten van deze ingrepen zijn:

- Toename van het ebdebiet door nevengeul
- Migratie bevorderen van de nevengeul in een oostelijke richting
- Keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden



Figuur 3-6 Ingrepen bij scenario 2 (scenario Valkenisse).

Model aanpassingen Scenario 2

De bodemveranderingen die aangebracht worden het Scheldemodel voor het huidige scenario worden getoond in Figuur 3-7. Dit toont aan dat er een bodemverhoging plaatsvindt aan de oostkant van de Plaat van Walsoorden en een bodemverlaging aan de westkant van de Plaat van Valkenisse, zodoende dat er een nieuwe nevengeul ontstaat. Het totale gestorte volume bedraagt 10.2 M $[m^3]$ en het totale gebaggerde volume 3.8 M $[m^3]$.


Figuur 3-7 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scenario 2. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 referentiescenario bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).

3.4 Scenario 3

Het huidig voorgestelde scenario 3 is gebaseerd op scenario 1, en heeft als doel om naast de Schaar van Waarde ook de Schaar van Valkenisse verder te verdiepen, en op natuurlijke wijze op diepte te houden. Omdat bij scenario 1 is geconstateerd dat de aanpassingen ervoor zorgden dat de nevengeul werd geknepen (zie hoofdstuk 4), is er in scenario 3 voor gekozen om de geul te verdiepen en te verruimen volgens een doorsnede oppervlakte (i.e. minimaal ~4500 $[m^2]$ beneden 0 [m TAW] gebaseerd op situatie in 2009). In onderstaande figuur wordt een vergelijking gemaakt van het verloop van de geuldoorsnedes langs de nevengeul voor de jaren 2009, 2015 en 2009. Uit de vergelijking blijkt er rond KP 4.0 – 5.0 een afname van het dwarsoppervlak die ten opzicht van 2009 zich te hebben voorgedaan. De gedachte is dat bij een grotere initiële doorsnede de geul zichzelf beter in stand kan houden.



Figuur 3-8 Vergelijking oppervlakte van geuldoorsnedes onder o [m TAW] langs tracé van de nevengeul in de jaren 2009, 2015 en 2019.

Voor wat betreft de ligging van de geul is gekeken naar de positie in 2015, waarbij de opwaartse aansluiting op de hoofdgeul meer geroteerd is in de stroomrichting van de hoofdgeul. Bijkomend voordeel is dat tevens een belangrijk deel van de zuidwestelijke uitbouw van de Plaat van Valkenisse wordt weggenomen, welke in de huidige situatie zorgt voor een contractie van de stroming in de hoofdgeul en de stromingscondities voor de scheepvaart van en naar de nevengeul zullen verbeteren.

Er wordt opgemerkt dat gezien de dynamiek van het platen en geulengebied de ingrepen een tijdelijke karakter hebben. In de voorgestelde ingreep wordt slechts een beperkte verlegging van de geul in oostwaartse richting voorzien. Dit is initieel een beperkte inspanningen, die daardoor slechts voor een beperkte duur effectief zal zijn.



Figuur 3-9 Bodemligging nevengeul in 2015 versus 2019 (referentie)

In overleg met de klant zijn de onderstaande acties gedefinieerd (Figuur 3-4) en in het Scheldemodel geïmplementeerd om het bovenstaande doel te bereiken:

- Verdiepen van de toegang Schaar van Waarde
- Verdiepen en verleggen van de nevengeul nabij de aansluiting met de Overloop van Valkenisse, zodat de oriëntatie van de nevengeul overeenkomt met de nevengeul uit 2015 en het dwarsoppervlak overeenkomt met de nevengeul uit 2009 (~4500 [m²]).
- Versterken van de (zuid-)oostzijde van Plaat van Walsoorden

De beoogde effecten van deze ingrepen zijn:

- Toename van het vloeddebiet door nevengeul
- Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door middel van het beperken van hoge langs- en dwarstromingen
- Keren van de sedimenterende trend Schaar van Waarde
- Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend van de zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden



Figuur 3-10 Ingrepen bij scenario 3 (bodemcontouren) op de bathymetrie van 2019 (referentie). De arcering geeft bijkomende verdieping Schaar van Waarde weer.

Model aanpassingen Scenario 3

De bodemveranderingen die aangebracht worden het Scheldemodel voor het huidige scenario worden getoond in Figuur 3-5. Dit toont een bodemverhoging aan de oostzijde van de Plaat van Walsoorden en een bodemverlaging bij de ingang van de Schaar van Waarde en rond de nevengeul bij de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. Het totale gestorte volume bedraagt 1.17 M $[m^3]$ en het totale gebaggerde volume 5.20 M $[m^3]$.

Dwarsdoorsneden van de nevengeulbodems (Figuur 3-11) tonen aan dat het dwarsoppervlak van de nevengeul vlak voor de samenvloeiing met de hoofdgeul bij de Overloop van Hansweert circa 4900 $[m^2]$ bedraagt (KP 4,8 km). De plotse toename van het dwarsoppervlak vanaf KP 5.5 hangt samen met het uitlopen van de rekenraai in de hoofdgeul.



Figuur 3-11 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 3 onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.



Figuur 3-12 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scenario 3. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van scenario 3 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).

3.5 Scenario 4

Het huidig voorgestelde scenario 4 is gebaseerd op scenario 2 en heeft als doel de Plaat van Walsoorden verder te versterken en de geul dichter naar zijn oorspronkelijke vorm van 10 jaar geleden te krijgen (Figuur 3-1). Het scenario is er opgericht om de stroming door de nevengeul te doen toenemen en hierdoor de verondieping en de hieraan gelinkte baggerinspanning in de opwaartse aansluiting te verminderen.

Omdat bij scenario 2 is geconstateerd dat de aanpassingen ervoor zorgden dat de nevengeul werd geknepen (zie hoofdstuk 4), is er in scenario 4 voor gekozen om de geul te verdiepen en te verruimen volgens een optimale doorsnede oppervlakte (i.e. minimaal ~4500 $[m^2]$ beneden o [m TAW] gebaseerd op situatie in 2009, zie Figuur 3-8).

Voor wat betreft de ligging van de geul is gekeken naar de positie in 2009, waarin de geul een meer oostwaartse ligging heeft en de opwaartse aansluiting op de hoofdgeul meer geroteerd is in de stroomrichting van de hoofdgeul. De geul wordt geleid door het ondiepere deel van de zuidwestelijke uitbouw van de Plaat van Valkenisse die hiermee wordt weggenomen. Hierdoor is er een betere aansluiting met de stroming in de hoofdgeul en zullen tevens de stromingscondities voor de scheepvaart van en naar de nevengeul verbeteren.

Er wordt opgemerkt dat gezien de dynamiek van het platen en geulengebied de ingrepen een tijdelijk karakter hebben. In de voorgestelde ingreep wordt de geul verder oostwaarts verplaatst. Dit is initieel een grotere inspanning, die daardoor ook langer effect zou moeten hebben.



Figuur 3-13 Bodemligging nevengeul in 2009 versus 2019 (referentie)

In overleg met de klant zijn de onderstaande acties gedefinieerd (Figuur 3-6) en in het Scheldemodel geïmplementeerd om het bovenstaande doel te bereiken:

- Aanleg van een nieuwe nevengeul, gebaseerd op de geometrie van de nevengeul uit 2009, maar 500 [m] oostwaarts van de locatie uit 2009 (voor een betere aansluiting)
- Versterken van de oostzijde van Plaat van Walsoorden. Verder wordt de aansluiting gemaakt met het restant van de voormalige zuidwestpunt van de Plaat van Valkenisse.

De beoogde effecten van deze ingrepen zijn:

- Toename van het ebdebiet door nevengeul
- Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door middel van het beperken van hoge langs- en dwarsstromingen



• Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden

Figuur 3-14 Ingrepen bij scenario 4 (bodemcontouren) op bathymetrie van 2019 (referentie).

Model aanpassingen Scenario 4

De bodemveranderingen die aangebracht worden het Scheldemodel voor het huidige scenario worden getoond in Figuur 3-7. Dit toont een bodemverhoging aan de oostkant van de Plaat van Walsoorden en een bodemverlaging aan de westkant van de Plaat van Valkenisse, zodoende dat er een nieuwe nevengeul ontstaat die dezelfde geometrie heeft als de nevengeul uit 2009, echter op een locatie 500 [m] oostwaarts. Het totale gestorte volume bedraagt 8.37 M [m³] en het totale gebaggerde volume 8.15 M [m³].

Dwarsdoorsneden van de nevengeulbodems (Figuur 3-15) tonen aan dat het dwarsoppervlak van de nevengeul vlak voor de samenvloeiing met de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse circa 4500 $[m^2]$ bedraagt (KP 4,8 km).



Figuur 3-15 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 3 onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.





3.6 Scenario 5

Het huidig voorgestelde scenario 5 is gebaseerd op scenario 4 (en dus ook gelinkt aan scenario 2) en heeft als doel de Plaat van Walsoorden verder te versterken en de geul dichter naar zijn oorspronkelijke vorm van 10 jaar geleden te krijgen (Figuur 3-1). Het scenario is er opgericht om de stroming door de nevengeul te doen toenemen en hierdoor de verondieping en de hieraan gelinkte sedimentatie in de opwaartse aansluiting te verminderen.

Omdat bij zowel scenario 2 alsook scenario 4 is geconstateerd dat de aanpassingen ervoor zorgden dat de nevengeul werd geknepen, is er in scenario 5 voor gekozen om de geul te verder verdiepen en te verruimen volgens een optimale doorsnede oppervlakte (i.e. minimaal ~4500 $[m^2]$ beneden o [m TAW] gebaseerd op situatie in 2009, zie Figuur 3-17).

Voor wat betreft de ligging van de geul is gekeken naar de positie in 2009, waarin de geul een meer oostwaartse ligging heeft en de opwaartse aansluiting op de hoofdgeul meer geroteerd is in de stroomrichting van de hoofdgeul. Om zowel lokale verzanding, zoals geobserveerd bij scenario 4, te voorkomen alsook de stromingscondities voor de scheepvaart van en naar de nevengeul te verbeteren is ervoor gekozen om de aansluiting iets meer in het verlengde te laten lopen van het benedenstroomse stuk van de nevengeul.

Er wordt opgemerkt dat gezien de dynamiek van het platen en geulengebied de ingrepen een tijdelijke karakter hebben. In de voorgestelde ingreep wordt de geul verder oostwaarts verplaatst. Dit is initieel een grotere inspanning, die daardoor ook langer effect zou moeten hebben.



Figuur 3-17 Bodemligging nevengeul in 2009 versus 2019 (referentie)

In overleg met de klant zijn de onderstaande acties gedefinieerd (Figuur 3-6) en in het Scheldemodel geïmplementeerd om het bovenstaande doel te bereiken:

- Aanleg van een nieuwe nevengeul, gebaseerd op de geometrie van de nevengeul uit 2009, maar 500 [m] oostwaarts van de locatie uit 2009 (voor een betere aansluiting). De bovenstroomse monding van de nevengeul wordt hierbij parallel getrokken aan het benedenstroomse gedeelte van de nevengeul.
- Versterken van zowel de oostzijde als de zuidzijde van Plaat van Walsoorden. Verder wordt de aansluiting gezocht met het restant van de voormalige zuidwestpunt van de Plaat van Valkenisse.
- Verbreden van de nevengeul op het punt waar de Geul van Zimmerman uitmondt in de nevengeul. Er wordt zand ontnomen aan de zijde van de Plaat van Valkenisse, waardoor het talud verbreedt.



- Verdiepen van de ingang van de Schaar van Waarde.
- Behouden sediment balans, dus evenveel storten als baggeren.

De beoogde effecten van deze ingrepen zijn:

- Toename van zowel het eb- als vloeddebiet door nevengeul
- Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door het beperken van de dwarsstromingen in de nevengeul
- Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden.



Figuur 3-18Scenario 5 bodemcontouren en bathymetrie.²

Model aanpassingen Scenario 5

De bodemveranderingen die aangebracht worden in het Scheldemodel voor het huidige scenario worden getoond in Figuur 3-7. Dit toont een bodemverhoging aan de oostkant van de Plaat van Walsoorden en een bodemverlaging aan de westkant van de Plaat van Valkenisse, zodoende dat er een nieuwe nevengeul ontstaat die dezelfde geometrie heeft als de nevengeul uit 2009, echter op een locatie 500 [m] oostwaarts en een iets directere bovenstroomse samenvloeiing met de hoofdgeul. Ook is het talud van de nevengeul uitgebreid in de richting van de Plaat van Valkenisse nabij het punt waar de Geul van Zimmerman uitmond in de nevengeul, om een groter dwarsoppervlak te creëren. Verder heeft er een verdieping plaatsgevonden bij de ingang van de Schaar Van Waarde, om het vloeddebiet door de nevengeul te stuwen. Hierbij is een verdieping ter plaatste van het nevengeul tracé voorzien, in plaats van over de volledige breedte, zoals bij scenario 1 en 3. Het totale gestorte volume bedraagt 10.85 M [m³] en het totale gebaggerde volume 11.15 M [m³], waarvan 2.06 M [m³] bij de ingang van de Schaar van Waarde.

² Er wordt opgemerkt dat in de uiteindelijke bodem van de nevengeul in het model, de uitloop in de hoofdgeul geen drempel bevat. Deze drempel is zichtbaar als grijze contourlijn net voor de monding.

Dwarsdoorsneden van de nevengeulbodems (Figuur 3-15) tonen aan dat het dwarsoppervlak van de nevengeul vlak voor de samenvloeiing met de hoofdgeul bij de Overloop van Hansweert circa $4445 \text{ [m}^2\text{]}$ bedraagt (KP 4,8 km). Het minimale dwarsoppervlak is juist $4000 \text{ [m}^2\text{]}$.



Figuur 3-19 Dwarsdoorsnede op KP4.8 en dwarsoppervlak [m²] nevengeulbathymetrie van scenario 5 onder o [m TAW] langs de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde.



Figuur 3-20 Aangebrachte bodemveranderingen [m] in het Scheldemodel op basis van het voorgestelde scenario 5. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van scenario 5 bathymetrie.

4 Resultaten

4.1 Invloed op waterstand, stroomsnelheden, bodemschuifspanningen en debieten

4.1.1 Referentiescenario

De resultaten van de hydrodynamische referentiesimulatie worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een spring-doodtij cyclus, Figuur 4-2 en Figuur 4-3) tonen aan dat de hoogste waardes (tot 1.5 [m/s]) tijdens vloed worden bereikt in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse en dat de maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1 [m/s]) groter zijn dan de maximale ebsnelheden (~0.75 [m/s]). Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-1), waarbij opgemerkt wordt dat deze in de hoofdgeul zwakker is dan in de nevengeul. De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Figuur 4-1 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [-] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.

De maximale bodemschuifspanningen die het model gedurende de hele simulatie periode produceert worden weergegeven in Figuur 4-4 en Figuur 4-5. Tijdens vloed kunnen extreme waardes tot wel 8 [Pa] waargenomen worden. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 4 [Pa]. De hoge waarden situeren zich in de hoofdgeul, ter hoogte van de Overloop van Valkenisse. Op basis van deze bodemschuifspanningen zou lokaal een sterke verdieping verwacht kunnen worden. Verder worden hoge schuifspanningen berekend op de oostelijke zijde van de nevengeul op de ondiepte aan de opwaartse zijde van de Schaar van Valkenisse.

Er dient opgemerkt te worden dat op basis van de figuren met maximale bodemschuifspanning niet opgemaakt kan worden hoe lang deze maximale waardes zich manifesteren, of hoe die een impact hebben op het (residuele) transport.



Figuur 4-2 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.



Figuur 4-3 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor het referentiescenario.



Figuur 4-4 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met referentiescenario bodem.



Figuur 4-5 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met referentiescenario bodem.

4.1.2 Scenario 1

De resultaten van de hydrodynamische simulatie van scenario 1 worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een spring-doodtij cyclus, Figuur 4-7 en Figuur 4-8) tonen aan dat de maximale stroomsnelheden ter hoogte van de Overloop van Valkenisse zijn toegenomen ten opzichte van de referentie situatie. De hoogste waardes (tot 2.25 [m/s], niet zichtbaar door saturatie van de schaal) worden bereikt in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse. De maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1.25 [m/s]) zijn groter dan de maximale ebsnelheden (~1.0 [m/s]). Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-6). De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Ratio maximal bottom ebb / flood flow velocity [-] in simulated period Mar-Apr 2019

Figuur 4-6 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1.

Verschilfiguren, waarbij de stroomsnelheden van het referentiescenario worden afgetrokken van het huidige scenario 1 (Figuur 4-9 en Figuur 4-10), tonen dat er een afname van stroomsnelheid plaatsvindt op de locaties van de stortingen en een toename tussen de stortingen in. Verder tonen de figuren dat er over het algemeen een afname van stroomsnelheid is in de nevengeul in het bijzonder ter hoogte van de Schaar van Waarde. Ter hoogte van de suppletie nemen de stroomsnelheden lokaal wel (sterk) toe. De ingrepen in de nevengeul leiden er toe dat de maximale stroomsnelheid in de hoofdgeul toeneemt.

De effecten op de Zimmerman geul zijn beperkt; er lijkt een beperkte toename van de snelheden in de geul (zowel tijdens eb als tijdens vloed) te volgen uit de resultaten. Ook op de Plaat van Valkenisse is er een beperkte toename van de (vloed) snelheid.

De maximale bodemschuifspanningen die het model produceert worden weergegeven in Figuur 4-11 en Figuur 4-12. Tijdens vloed kunnen hoge waardes tot wel 8 [Pa] en hoger (saturatie) waargenomen worden op de locatie waar de nevengeul de hoofdgeul bij de Overloop van Ossenisse ontmoet. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 4-5 [Pa].



Figuur 4-7 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1.



Figuur 4-8 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 1.



Figuur 4-9 Verschil (scenario 1 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-10 Verschil (scenario 1 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-11 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met scenario 1 bodem.



Figuur 4-12 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 1 bodem.

Eb- en vloeddebieten

Over meerdere raaien, verspreid over het estuarium (Figuur 4-13), zijn in het model de eb- en vloeddebieten bepaald. Figuur 4-14 en Figuur 4-15 geven de totale eb- en vloedvolumes van het huidige scenario en het referentiescenario weer gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Een afname van zowel het totale eb- als vloedvolume is zichtbaar stroomafwaarts van de scenario-ingreep. De afwaartse toename kan worden verklaard doordat bij scenario 1 de sedimentbalans positief is (meer gestort dan gebaggerd).

Tijdseries van debieten in het projectgebied van Walsoorden en Valkenisse worden weergegeven in Bijlage E.1. Hieruit wordt duidelijk dat, in het huidige scenario, het debiet in de hoofdgeul toeneemt en in de nevengeul afneemt. Ook de geul van Zimmerman laat een afname zien van het vloedvolume (-9.7 [%]) en van het ebvolume (-14.9 [%]). Gezien het zeer kleine getijvolume (raai Wals3) kan deze (procentuele) verandering (in de Zimmerman geul) als niet relevant beschouwd worden. Tabel 4-1 en **Tabel 4-2** tonen de percentuele verschillen in totale eb- en vloedvolumes per debietraai tussen scenario 1 en het referentiescenario.

Het behoud van het meergeulenstelsel is een belangrijk criterium in de beheersstrategie van de Westerschelde (Schrijver, 2019). Het uitgangspunt hierbij is dat het nevengeulvolume in macrocel 5 (berekend tot -5 [m NAP]) niet tot onder een ondergrens van 27.83 M [m³] (5-jaar grens) mag afnemen. Het referentiescenario toont in 2019 (beginsituatie) een nevengeulvolume van 28.17 M [m³] en scenario 1 een volume van 28.32 M [m³]. Initieel heeft is door de volumetoename in scenario 1 ten opzichte van het referentiescenario de nieuwe situatie gunstiger voor het behoud van het meergeulenstelsel. Een verklaring voor deze toename is het feit dat het merendeel van de zandversterkingen op locaties boven -5 [m NAP] hebben plaatsgevonden en de verdiepingen op locaties die dieper dan -5 [m NAP]. Echter, gezien de afname van de (maximale) stroomsnelheden is sedimentatie in de nevengeul te verwachten en zal het volume terug afnemen.



Figuur 4-13 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied.







Figuur 4-15 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 1 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 1 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 1	scenario 1
Raai 10	-0.52%	-0.55%
Raai 9	-0.63%	-0.66%
Raai 7	-1.01%	-0.98%
Raai 6	-1.29%	-1.19%
Raai 5a	-1.33%	-1.18%
Walsoorden	-0.80%	-0.78%
Raai 3	-0.16%	-0.07%
Raai 2	-0.11%	-0.01%
Bath	-0.13%	0.02%
Appelzak	-0.22%	-0.08%
Raai 1	-0.15%	-0.05%
Zandvliet	-0.26%	-0.19%
Liefkenshoek	-0.14%	-0.12%
Kallo	-0.24%	-0.21%
Boerenschans	-0.17%	-0.13%
Oosterweel	-0.27%	-0.29%
Antw. Loodsgebouw	-0.26%	-0.33%
Galgenweel	-0.12%	-0.22%
Kruibeke	-0.11%	-0.21%
Schelle	-0.25%	-0.35%

Tabel 4-1 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 1 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.

Tabel 4-2 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 1 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 1	scenario 1
Raai_5a_1	4.81%	9.30%
Raai_5a_2	-14.67%	-17.83%
Raai_Wals1	5.49%	10.70%
Raai_Wals2	-17.53%	-22.93%
Raai_Wals3	-14.90%	-9.74%
Raai_Bath1	-0.62%	0.06%
Raai_Bath2	0.41%	-0.03%
Raai_Appelzak1	-0.18%	-0.08%
Raai_Appelzak2	-0.35%	-0.09%

4.1.3 Scenario 2

De resultaten van de hydrodynamische simulatie van het huidige scenario worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een springdoodtij cyclus) tonen aan dat, anders dan in de referentie en scenario 1, de hoogste waardes (tot 1.5 [m/s]) worden bereikt in de hoofdgeul tussen de bocht van Walsoorden en de Overloop van Valkenisse. De maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1.15 [m/s]) zijn opnieuw groter dan de maximale ebsnelheden (~0.9 [m/s]). Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-16). De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Figuur 4-16 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2.

Verschilfiguren, waarbij de stroomsnelheden van het referentiescenario worden afgetrokken van het huidige scenario 2 (Figuur 4-19 en Figuur 4-20), tonen dat er een afname van stroomsnelheid plaatsvindt op de locaties van de stortingen en een toename op de locatie waar de nieuwe nevengeul is gebaggerd. Met name is er een afname van de (maximale) (vloed) stroming in de Schaar van Waarde terwijl in de gebaggerde sectie de (maximale) stroomsnelheid is toegenomen. Dit duidt erop dat de stroming door de nevengeul door de ingreep is bemoeilijkt, wat ook blijkt uit de toegenomen (maximale) stroomsnelheid in de hoofdgeul.

De maximale bodemschuifspanningen die het model produceert worden weergegeven in Figuur 4-21 en Figuur 4-22. Tijdens vloed kunnen hoge waardes lokaal tot wel 8 [Pa] waargenomen worden. Anders dan in de referentie en scenario 1 treden deze maximale waardes lokaal op en is er geen sprake meer van contractie in de Overloop van Valkenisse. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 4-5 [Pa].



Figuur 4-17 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2.



Figuur 4-18 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 2.



Figuur 4-19 Verschil (scenario 2 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-20 Verschil (scenario 2 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-21 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met scenario 2 bodem.



Figuur 4-22 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 2 bodem.

Eb- en vloeddebieten

Over meerdere raaien, verspreid over het estuarium (Figuur 4-23), zijn in het model de eb- en vloeddebieten bepaald. Figuur 4-24 en Figuur 4-25 geven de totale eb- en vloedvolumes van het huidige scenario en het referentiescenario weer gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Een afname van zowel het totale eb- als vloedvolume is zichtbaar stroomafwaarts van de scenario-ingreep. De afwaartse toename kan worden verklaard doordat bij scenario 2 de sedimentbalans positief is (meer gestort dan gebaggerd), verder kan door de verruiming het getij makkelijker door het estuarium propageren en neemt opwaarts het volume (en de getijslag) enigszins toe.

Tijdseries van debieten in het projectgebied van Walsoorden en Valkenisse worden weergegeven in Bijlage E.2. Hieruit wordt duidelijk dat, in het huidige scenario, het debiet in de hoofdgeul toeneemt en in de nevengeul afneemt. De geul van Zimmerman (raai Wals3) laat een lichte afname zien van het vloedvolume (2.4 [%]) en een toename van het ebvolume (7.8 [%]) dat gezien het geringe debiet door de geul als niet relevant beschouwd kan worden. Tabel 4-3 en Tabel 4-4 tonen de percentuele verschillen in totale eb- en vloedvolumes per debietraai tussen scenario 2 en het referentiescenario.

Het behoud van het meergeulenstelsel is een belangrijk criterium in de beheersstrategie van de Westerschelde (Schrijver, 2019). Het uitgangspunt hierbij is dat het nevengeulvolume (berekend tot -5 [m NAP]) niet tot onder een ondergrens van 27.83 M [m3] (5-jaar grens) in macrocel 5 mag afnemen. Het referentiescenario toont in 2019 (initiële bodem) een nevengeulvolume van 28.17 M [m³] en scenario 2 een volume van 25.47 M [m3]. De sterke afname in nevengeulvolume bij scenario 2 zorgt ervoor dat de ondergrens voor macrocel 5 wordt overschreden. Een verklaring voor deze afname is het feit dat een groot gedeelte van de zandversterkingen op locaties beneden

-5 [m NAP] hebben plaatsgevonden en dat de verdiepingen bij de verlegging van de nevengeul onvoldoende zijn om dit te compenseren.



Figuur 4-23 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied.



Figuur 4-24 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 2 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 2 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.



Figuur 4-25 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 2 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 2 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 2	scenario 2
Raai 10	-0.28%	-0.27%
Raai 9	-0.32%	-0.31%
Raai 7	-0.46%	-0.42%
Raai 6	-0.55%	-0.50%
Raai 5a	-0.19%	-0.14%
Walsoorden	0.08%	0.05%
Raai 3	0.17%	0.19%
Raai 2	0.15%	0.19%
Bath	0.14%	0.21%
Appelzak	0.12%	0.17%
Raai 1	0.12%	0.14%
Zandvliet	0.10%	0.10%
Liefkenshoek	0.12%	0.14%
Kallo	0.10%	0.09%
Boerenschans	0.11%	0.12%
Oosterweel	0.09%	0.06%
Antw.	0.09%	0.06%
Loodsgebouw		
Galgenweel	0.12%	0.10%
Kruibeke	0.14%	0.12%
Schelle	0.12%	0.08%

Tabel 4-3 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 2 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.

Tabel 4-4 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 2 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 2	scenario 2
Raai_5a_1	6.16%	14.56%
Raai_5a_2	-13.96%	-23.50%
Raai_Wals1	6.87%	16.42%
Raai_Wals2	-22.53%	-32.52%
Raai_Wals3	7.80%	-2.44%
Raai_Bath1	-0.74%	3.08%
Raai_Bath2	1.10%	-3.80%
Raai_Appelzak1	0.00%	-0.09%
Raai_Appelzak2	0.48%	0.52%

4.1.4 Scenario 3

De resultaten van de hydrodynamische simulatie van scenario 3 worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een spring-doodtij cyclus, Figuur 4-7 en Figuur 4-8) tonen aan dat de maximale stroomsnelheden ter hoogte van de Overloop van Valkenisse zijn afgenomen ten opzichte van de referentie situatie. De hoogste waardes (tot 1.25 [m/s]) worden bereikt in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse. De maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1.25 [m/s]) zijn groter dan de maximale ebsnelheden (~1.0 [m/s]). Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-6). De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Figuur 4-26 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [-] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3.

Verschilfiguren, waarbij de stroomsnelheden van het referentiescenario worden afgetrokken van het huidige scenario 3 (Figuur 4-9 en Figuur 4-10), tonen dat er een afname van stroomsnelheid plaatsvindt op de locaties van de stortingen, op de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse en in de hoofdgeul van de Bocht van Walsoorden tot en met de Overloop van Valkenisse. Een toename is zichtbaar in de nevengeul zelf en stroomopwaarts ervan langs de zuidzijde van de Plaat van Valkenisse parallel aan de hoofdgeul.

De effecten op de Zimmerman geul zijn beperkt; er lijkt een beperkte afname van de snelheden in de geul (zowel tijdens eb als tijdens vloed) te volgen uit de resultaten. Ook op de Plaat van Valkenisse is er een beperkte afname van de (vloed) snelheid.

De maximale bodemschuifspanningen die het model produceert worden weergegeven in Figuur 4-11 en Figuur 4-12. Tijdens vloed kunnen hoge waardes tot wel 5 [Pa] en hoger (saturatie) waargenomen worden op de locatie van de nevengeul. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 3-4 [Pa].



Figuur 4-27 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3.



Figuur 4-28 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 3.



Figuur 4-29 Verschil (scenario 3 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-30 Verschil (scenario 3 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-31 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met scenario 3 bodem.



Figuur 4-32 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 3 bodem.

Eb- en vloeddebieten

Over meerdere raaien, verspreid over het estuarium (Figuur 4-13), zijn in het model de eb- en vloeddebieten bepaald. Figuur 4-14 en Figuur 4-15 geven de totale eb- en vloedvolumes van het huidige scenario en het referentiescenario weer gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Een toename van zowel het totale eb- als vloedvolume is zichtbaar stroomop- en afwaarts van de scenario-ingreep. De afwaartse toename kan worden verklaard doordat bij scenario 3 de sedimentbalans negatief is (meer gebaggerd dan gestort), verder kan door de verruiming het getij makkelijker door het estuarium propageren en neemt dus ook opwaarts het volume enigszins toe. De afname in volume rond de scenario-ingreep heeft te maken met de lokale verplaatsing van zand over de raaigrenzen (in dit scenario is de sediment balans ongeveer gelijk). Normalerwijs neemt langsheen het estuarium het getijvolume monotoon af, dit blijft zo. Als er zand wordt verschoven tussen de vakken, zorgt dit ervoor dat ook het verloop van de debietsafname wijzigt.

Tijdseries van debieten in het projectgebied van Walsoorden en Valkenisse worden weergegeven in Bijlage E.3. Hieruit wordt duidelijk dat, in het huidige scenario, het debiet in de hoofdgeul afneemt en in de nevengeul toeneemt. Deze verandering is groter tijdens eb (toename van het nevengeul debiet van 11 tot 18%) dan tijdens vloed (toename 5 tot 8%). De scenario-ingrepen zorgen er dus voor dat twee van de vooraf beoogde effecten (i.e. het heractiveren van de nevengeul en een toename van het (vloed) debiet door nevengeul) worden behaald.

De geul van Zimmerman laat een afname zien van het vloedvolume (-12.7 [%]) en van het ebvolume (-0.3 [%]). Gezien het zeer kleine getijvolume (raai Wals3) kan deze (procentuele) verandering (in de Zimmerman geul) als niet relevant beschouwd worden. Tabel 4-1 en Tabel 4-2 tonen de percentuele verschillen in totale eb- en vloedvolumes per debietraai tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Location discharge transects

Figuur 4-33 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied.







Figuur 4-35 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 3 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 3 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 3	scenario 3
Raai 10	0.25%	0.23%
Raai 9	0.28%	0.26%
Raai 7	0.31%	0.26%
Raai 6	0.35%	0.27%
Raai 5a	0.05%	-0.04%
Walsoorden	-0.12%	-0.23%
Raai 3	0.23%	0.10%
Raai 2	0.26%	0.15%
Bath	0.28%	0.17%
Appelzak	0.21%	0.11%
Raai 1	0.36%	0.24%
Zandvliet	0.16%	0.07%
Liefkenshoek	0.20%	0.11%
Kallo	0.26%	0.18%
Boerenschans	0.28%	0.18%
Oosterweel	0.18%	0.12%
Antw. Loodsgebouw	0.24%	0.16%
Galgenweel	0.26%	0.20%
Kruibeke	0.23%	0.19%
Schelle	0.06%	0.03%

Tabel 4-5 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 3 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.

Tabel 4-6 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 3 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 3	scenario 3
Raai_5a_1	-5.20%	-3.25%
Raai_5a_2	11.43%	5.06%
Raai_Wals1	-5.91%	-3.80%
Raai_Wals2	17.92%	8.13%
Raai_Wals3	-0.29%	-12.67%
Raai_Bath1	-0.36%	1.44%
Raai_Bath2	0.97%	-1.61%
Raai_Appelzak1	0.09%	0.00%
Raai_Appelzak2	0.56%	0.26%

4.1.5 Scenario 4

De resultaten van de hydrodynamische simulatie van het huidige scenario 4 worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een springdoodtij cyclus) tonen aan dat, anders dan in de referentie en scenario 3, de hoogste waardes (tot 1.25 [m/s]) worden bereikt in de hoofdgeul tussen de bocht van Walsoorden en de Overloop van Valkenisse. De maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1.15 [m/s]) zijn opnieuw groter dan de maximale ebsnelheden (~0.9 [m/s]). Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-16). De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Figuur 4-36 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4.

Verschilfiguren, waarbij de (bodem) stroomsnelheden van het referentiescenario worden afgetrokken van het huidige scenario 4 (Figuur 4-19 en Figuur 4-20), tonen dat er een afname van stroomsnelheid plaatsvindt op de locaties van de stortingen en een toename op de locatie waar de nieuwe nevengeul is gebaggerd. Een afname van de (maximale) vloedstroming in de Schaar van Waarde is zichtbaar, terwijl de (maximale) ebstroming is toegenomen. Dit duidt erop dat de vloedstroming door de nevengeul door de ingreep is bemoeilijkt, wat ook blijkt uit de toegenomen (maximale) stroomsnelheid in de hoofdgeul. (Overigens nemen de dieptegemiddelde stroomsnelheden in hoofdgeul zowel tijdens eb, als tijdens vloed toe, zie figuren in Bijlage E.4). Gezien de aanzienlijke vergroting van het dwarsoppervlak van de nieuwe nevengeul ten opzichte van scenario 2 (4500 $[m^2]$ t.o.v. 2000 $[m^2]$) is dit opmerkelijk.

Bij de stroomafwaartse ingang van de geul van Zimmerman worden tijdens zowel eb als vloed hogere stroomsnelheden waargenomen. Op de Plaat van Valkenisse en in de geul van Zimmerman neemt tijdens vloed de maximale stroomsnelheid af.

De maximale bodemschuifspanningen die het model produceert worden weergegeven in Figuur 4-21 en Figuur 4-22. Tijdens vloed kunnen hoge waardes lokaal tot wel 6 [Pa] waargenomen worden. Anders dan in het referentie scenario treden deze maximale waardes lokaal op en is er geen sprake meer van contractie in de Overloop van Valkenisse. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 2.5-4 [Pa].


Figuur 4-37 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4.



Figuur 4-38 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 4.



Figuur 4-39 Verschil (scenario 4 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-40 Verschil (scenario 4 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-41 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met scenario 4 bodem.



Figuur 4-42 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 4 bodem.

Eb- en vloeddebieten

Over meerdere raaien, verspreid over het estuarium (Figuur 4-23), zijn in het model de eb- en vloeddebieten bepaald. Figuur 4-24 en Figuur 4-25 geven de totale eb- en vloedvolumes van het huidige scenario en het referentiescenario weer gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Een toename van zowel het totale eb- als vloedvolume is zichtbaar stroomop -en afwaarts van de scenario-ingreep. De sedimentbalans is neutraal (evenveel gebaggerd dan gestort). Door de aanpassingen echter kan het getij makkelijker door het estuarium propageren en neemt zowel op- als afwaarts het volume (met de getijslag) enigszins toe. De afname in volume rond de scenario-ingreep heeft te maken met de lokale verplaatsing van zand over de raaigrenzen (in dit scenario is de sediment balans ongeveer gelijk). Normalerwijs neemt langsheen het estuarium het getijvolume monotoon af, dit blijft zo. Als er zand wordt verschoven tussen de vakken, zorgt dit ervoor dat ook het verloop van de debietsafname wijzigt.

Tijdseries van debieten in het projectgebied van Walsoorden en Valkenisse worden weergegeven in Bijlage E.2. Hieruit wordt duidelijk dat, in het beschouwde scenario, zoals beoogd het ebdebiet in de nevengeul toeneemt (met 10 tot 15%) en afneemt in de hoofdgeul, maar dat het vloeddebiet in de nevengeul afneemt (met circa 7%) terwijl er meer debiet door de hoofdgeul gaat.

De geul van Zimmerman (raai Wals3) laat een afname zien van het vloedvolume (-18.9 [%]) en een toename van het ebvolume (4.8 [%]) dat gezien het geringe debiet door de geul als niet relevant beschouwd kan worden. Tabel 4-3 en Tabel 4-4 tonen de percentuele verschillen in totale eb- en vloedvolumes per debietraai tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur 4-43 Overzicht met locaties van debietraaien in het projectgebied.



Figuur 4-44 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 4 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 4 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.



Figuur 4-45 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 4 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 4 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 4	scenario 4
Raai 10	0.16%	0.14%
Raai 9	0.18%	0.16%
Raai 7	0.12%	0.08%
Raai 6	0.12%	0.04%
Raai 5a	-0.21%	-0.29%
Walsoorden	-0.04%	-0.23%
Raai 3	0.50%	0.29%
Raai 2	0.53%	0.40%
Bath	0.55%	0.44%
Appelzak	0.48%	0.36%
Raai 1	0.66%	0.51%
Zandvliet	0.40%	0.26%
Liefkenshoek	0.42%	0.30%
Kallo	0.56%	0.46%
Boerenschans	0.54%	0.42%
Oosterweel	0.39%	0.29%
Antw. Loodsgebouw	0.48%	0.35%
Galgenweel	0.52%	0.42%
Kruibeke	0.48%	0.42%
Schelle	0.22%	0.19%

Tabel 4-7 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 4 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.

Tabel 4-8 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 4 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 4	scenario 4
Raai_5a_1	-4.72%	3.62%
Raai_5a_2	9.58%	-6.49%
Raai_Wals1	-5.13%	4.21%
Raai_Wals2	14.79%	-7.32%
Raai_Wals3	4.82%	-18.93%
Raai_Bath1	0.06%	0.65%
Raai_Bath2	1.08%	0.15%
Raai_Appelzak1	0.38%	0.02%
Raai_Appelzak2	0.77%	0.84%

4.1.6 Scenario 5

De resultaten van de hydrodynamische simulatie van het huidige scenario 5 worden in deze sectie getoond. Maximale stroomsnelheden nabij de bodem (over een springdoodtij cyclus) tonen aan dat, de hoogste waardes (tot 1.25 [m/s]) worden bereikt in de hoofdgeul tussen de bocht van Walsoorden en de Overloop van Valkenisse. De maximale vloedsnelheden in de nevengeul (~1.15 [m/s]) worden net onder de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse bereikt. De maximale ebsnelheden (~0.9 [m/s]) worden grofweg halverwege de nevengeul bereikt, waar de geul van Zimmerman uitmondt in de nevengeul. Zowel de hoofdgeul als de nevengeul hebben een vloeddominantie (Figuur 4-16). De Platen van Walsoorden en Valkenisse kennen een vloeddominantie aan de westelijke zijdes en een ebdominantie aan de oostelijke zijde.



Figuur 4-46 Ratio tussen maximale eb- en vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.

Verschilfiguren, waarbij de (bodem) stroomsnelheden van het referentiescenario worden afgetrokken van het huidige scenario 5 (Figuur 4-19 en Figuur 4-20), tonen dat er een afname van stroomsnelheid plaatsvindt op de locaties van de stortingen en een toename op de locatie waar de nieuwe nevengeul is gebaggerd. Hierbij is de nieuw gebaggerde ingang van Schaar van Waarde tijdens (maximale) vloedstroming een uitzondering, waarbij een lichte afname wordt getoond. In de hoofdgeul is tijdens eb is een duidelijke afname van de maximale stroomsnelheid te zien, terwijl dit tijdens maximale vloedstroming lastiger waarneembaar is door de aanwezigheid van gebieden waarbij sprake is van een lichte toename. Dit laatste kan het gevolg zijn van de lokale stortingen van zand aan de zuidzijde van de Plaat van Walsoorden in dit scenario.

Bij de stroomafwaartse ingang van de geul van Zimmerman worden alleen bij eb hogere stroomsnelheden waargenomen. Op de Plaat van Valkenisse en in de geul van Zimmerman neemt tijdens vloed de maximale stroomsnelheid af.

De maximale bodemschuifspanningen die het model produceert worden weergegeven in Figuur 4-21 en Figuur 4-22. Tijdens vloed kunnen hoge waardes lokaal tot wel 5.5 [Pa] waargenomen worden. Anders dan in het referentie scenario treden deze maximale waardes lokaal op en is er geen sprake meer van contractie in de Overloop van Valkenisse. In het geval van eb komen de maximale waardes tot 2.5-4 [Pa].



Figuur 4-47 Maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.



Figuur 4-48 Maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie voor scenario 5.



Figuur 4-49 Verschil (scenario 5 - referentiescenario) in maximale ebstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-50 Verschil (scenario 5 - referentiescenario) in maximale vloedstroming [m/s] nabij de bodem van ieder rekenpunt gedurende een spring-doodtij simulatie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-51 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale ebstroming in de gesimuleerde springdoodtij cyclus met scenario 5 bodem.



Figuur 4-52 Bodemschuifspanning [Pa] tijdens maximale vloedstroming in de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met scenario 5 bodem.

Eb- en vloeddebieten

Over meerdere raaien, verspreid over het estuarium (Figuur 4-23), zijn in het model de eb- en vloeddebieten bepaald. Figuur 4-24 en Figuur 4-25 geven de totale eb- en vloedvolumes van het huidige scenario en het referentiescenario weer gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Een toename van zowel het totale eb- als vloedvolume is zichtbaar stroomop -en afwaarts van de scenario-ingreep. De sedimentbalans is neutraal (evenveel gebaggerd dan gestort). Door de aanpassingen echter kan het getij makkelijker door het estuarium propageren en neemt zowel op- als afwaarts het volume (met de getijslag) enigszins toe. De afname in volume rond de scenario-ingreep heeft te maken met de lokale verplaatsing van zand over de raaigrenzen (in dit scenario is de sediment balans ongeveer gelijk). Normalerwijs neemt langsheen het estuarium het getijvolume monotoon af, dit blijft zo. Als er zand wordt verschoven tussen de vakken, zorgt dit ervoor dat ook het verloop van de debietsafname wijzigt.

Tijdseries van debieten in het projectgebied van Walsoorden en Valkenisse worden weergegeven in Bijlage E.5. Hieruit wordt duidelijk dat, in het beschouwde scenario, zoals beoogd het ebdebiet in de nevengeul toeneemt (met 14 tot 22 [%]) en afneemt in de hoofdgeul (met -7 tot -8 [%]). Voor het vloeddebiet wordt er zowel in de nevengeul als hoofdgeul een lichte afname waargenomen (met circa -1 en -0.3 [%], respectievelijk).

De geul van Zimmerman (raai Wals3) laat een afname zien van het vloedvolume (-11.3 [%]) en een toename van het ebvolume (3.94 [%]) dat gezien het geringe debiet door de geul als niet relevant beschouwd kan worden. Tabel 4-3 en Tabel 4-4 tonen de percentuele verschillen in totale eb- en vloedvolumes per debietraai tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur 4-53 Overzicht met locaties van debietraaien (rode lijnen) in het projectgebied geplot bovenop de referentiebathymetrie.



Figuur 4-54 Linker y-as: Totale ebvolumes [m³] van het huidige scenario 5 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale ebvolume [m³] tussen scenario 5 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.



Figuur 4-55 Linker y-as: Totale vloedvolumes [m³] van het huidige scenario 5 en het referentiescenario gedurende een gemiddeld getij in de simulatieperiode. Rechter y-as: Verschil in totale vloedvolume [m³] tussen scenario 5 en referentiescenario. Locatieaanduiding: Raai 10 ligt bij de monding nabij Vlissingen, Raai 9 bij Sloehaven, Raai 7 bij Terneuzen en Raai 6 nabij de Overloop van Hansweert.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 5	scenario 5
Raai 10	0.24%	0.20%
Raai 9	0.25%	0.20%
Raai 7	0.14%	0.05%
Raai 6	0.11%	-0.02%
Raai 5a	-0.49%	-0.60%
Walsoorden	-0.47%	-0.68%
Raai 3	0.51%	0.26%
Raai 2	0.55%	0.36%
Bath	0.57%	0.41%
Appelzak	0.51%	0.34%
Raai 1	0.71%	0.52%
Zandvliet	0.43%	0.26%
Liefkenshoek	0.43%	0.27%
Kallo	0.57%	0.42%
Boerenschans	0.61%	0.48%
Oosterweel	0.40%	0.29%
Antw. Loodsgebouw	0.51%	0.37%
Galgenweel	0.56%	0.45%
Kruibeke	0.50%	0.42%
Schelle	0.20%	0.17%

Tabel 4-9 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 5 en het referentiescenario voor verschillende debietraaien langsheen het Schelde estuarium.

Tabel 4-10 Percentueel verschil in totale eb- en vloedvolumes tussen scenario 5 en het referentiescenario voor verschillende lokale debietraaien rond het projectgebied.

	Verschil ebvolume [%]	Verschil vloedvolume [%]
	scenario 5	scenario 5
Raai_5a_1	-7.21%	-0.23%
Raai_5a_2	14.10%	-1.18%
Raai_Wals1	-7.95%	-0.07%
Raai_Wals2	21.86%	-0.86%
Raai_Wals3	3.94%	-11.34%
Raai_Bath1	-0.03%	1.00%
Raai_Bath2	1.24%	-0.42%
Raai_Appelzak1	0.38%	0.17%
Raai_Appelzak2	0.87%	0.58%

4.2 Invloed op bodemontwikkelingen, sedimentatie/erosie

4.2.1 Scenario 1

Bodemveranderingen die plaatsvinden na een volledig gesimuleerd jaar, worden in deze sectie getoond. Een vergelijking met de erosie-depositiepatronen van het referentiescenario (Figuur 4-58) toont dat er bij scenario 1 een grotere bodemevolutie plaatsvindt bij de Overloop van Valkenisse. De stortingen aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse tonen een sterke migratie zuidwaarts richting de hoofdgeul (Figuur 4-56 en Figuur 4-57). Als gevolg hiervan verandert de vorm van de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse sterk (Figuur 4-59). Erosie langs de oostzijde van de nevengeul (Plaat van Valkenisse) en afzettingen aan de Plaat van Walsoorden duiden op een migratie van de geul in oostelijke richting. Ter hoogte van de inloop van de Geul Zimmerman treedt meer erosie op dan in de referentieberekening.

Het nevengeulvolume in macrocel 5, welke voor 2019 bathymetrie is getoond in sectie 4.1.2, is hier ook berekend met de bathymetrie na een gesimuleerd jaar. Hieruit blijkt dat er bij het referentiescenario er een afname is van het nevengeulvolume van -0.09 M $[m^3]$ terwijl scenario 1 een nevengeulvolume toename laat zien van 0.55 M $[m^3]$. De toename van het nevengeulvolume kan een als een positieve evolutie van scenario 1 worden beschouwd ten aanzien van het criterium behoud van het meergeulenstelsel.



Figuur 4-56 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-57 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.



Figuur 4-58 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 4-59 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 1. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

4.2.2 Scenario 2

Bodemveranderingen die plaatsvinden na een volledig gesimuleerd jaar, worden in deze sectie getoond. Op de locatie van de nieuw gebaggerde nevengeul is zichtbaar dat in een jaar tijd bodemvormen met een amplitude van enkele meters zijn ontstaan op de initieel gladde bodem (Figuur 4-60 en Figuur 4-61). Vanuit Figuur 4-63 wordt duidelijk dat er met name sedimentatie heeft opgetreden in de nevengeul aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse en erosie aan de kant van de Plaat van Walsoorden. Er blijkt te weinig stroming te zijn om de geul op natuurlijke wijze te verdiepen. Een vergelijking met de erosie-depositiepatronen van het referentiescenario (Figuur 4-62) toont dat er bij scenario 2 minder bodemevolutie plaatsvindt bij de Overloop van Valkenisse. Daarentegen versterken de erosie-depositiepatronen in de Bocht van Walsoorden.

Het nevengeulvolume in macrocel 5, welke voor 2019 bathymetrie is getoond in sectie 4.1.3, is hier ook berekend met de bathymetrie na een gesimuleerd jaar. Hieruit blijkt dat er bij het referentiescenario er een afname is van het nevengeulvolume van -0.09 M $[m^3]$, terwijl scenario 2 een nevengeulvolume toename laat zien van 0.22 M $[m^3]$. De toename van het nevengeulvolume kan een als een positieve evolutie van scenario 2 worden beschouwd voor het behoud van het meergeulenstelsel.



Figuur 4-60 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-61 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.



Figuur 4-62 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 4-63 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 2. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

4.2.3 Scenario 3

Bodemveranderingen die plaatsvinden na een volledig gesimuleerd jaar, worden in deze sectie getoond. Een vergelijking met de erosie-depositiepatronen van het referentiescenario (Figuur 4-58) toont dat er bij scenario 3 de grootste bodemveranderingen plaatsvinden aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. Hierbij lijkt de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse naar het zuiden uit te bouwen, waarbij de nieuwe nevengeul zeer lokaal verondiept (Figuur 4-56 en Figuur 4-57). Ook is een terugtrekking van de nieuw aangelegde zuidoost punt van de Plaat van Walsoorden zichtbaar. Dit is in de lijn der verwachtingen, gezien dat scenario 3 sterk lijkt op de situatie van het nevengeulstelsel in 2015 waarbij er zich een algemene migratie van de nevengeul in westelijke richting voordeed. Een bijkomend gevolg van de nieuwe geïmplementeerde nevengeul is een afname van de bodemveranderingen in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-59). Ter hoogte van de inloop van de Geul Zimmerman zijn er geen significante verschillen in erosie tussen de scenarioberekening en referentieberekening.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is getoetst aan het criterium voor het behoud van het meergeulenstelsel (ondergrens van 27.83 M $[m^3]$). Het referentiescenario toont in 2019 (beginsituatie) een nevengeulvolume van 28.17 M $[m^3]$ en scenario 3 een volume van 31.89 M $[m^3]$. Initieel is door de volumetoename in scenario 3 ten opzichte van het referentiescenario de nieuwe situatie gunstiger voor het behoud van het meergeulenstelsel. Een verklaring voor deze toename is het feit dat er meer zand is onttrokken aan het systeem dan dat er is toegevoegd.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is ook berekend met de bathymetrie na een gesimuleerd jaar. Hieruit blijkt dat er bij het referentiescenario er een afname is van het nevengeulvolume van -0.09 M $[m^3]$ terwijl scenario 3 een nevengeulvolume afname laat zien van -0.38 M $[m^3]$. De grotere afname van het nevengeulvolume kan een als een negatieve evolutie van scenario 3 worden beschouwd ten aanzien van het criterium behoud van het meergeulenstelsel. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 3.72 M $[m^3]$ als gevolg van de scenario-ingrepen, is het algemene scenario-effect nog steeds positief.



Figuur 4-64 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-65 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.



Figuur 4-66 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 4-67 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 3. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

4.2.4 Scenario 4

Bodemveranderingen die plaatsvinden na een volledig gesimuleerd jaar, worden in deze sectie getoond. De nieuw gebaggerde nevengeul oogt relatief stabiel ten opzichte van de jaarlijkse veranderingen in het referentiescenario (Figuur 4-60 tot en met Figuur 4-63). Noemenswaardig is de sedimentatie die zich heeft voorgedaan bij het uiteinde van de nevengeul aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. De nevengeul bocht zich uit tegen de aangebrachte versterking van de nieuwe zuidoostpunt van de Plaat van Walsoorden, welke versteilt door erosie aan de onderkant van de helling en sedimentatie boven op de smalle plaat. Ondanks een grotere stroomsnelheid in de nevengeul bij het huidige scenario 4 dan bij scenario 2, waaiert de stroming aan het opwaartse uiteinde uit, wat tot verondieping leidt. Zand wordt weliswaar door de geul stroomopwaarts gestuwd, maar door vertraging van de stroming (divergentie) hoopt het sediment zich op bij de samenvloeiing met de hoofgeul (Figuur 4-72). Gebaseerd op onze ervaring met andere morfologische modellen in TELEMAC, bestaat er het vermoeden dat de steile zandbanken die zich vormen, door het model artificieel worden versteild. Daarom lijkt het niet onredelijk te veronderstellen dat in realiteit het geërodeerde materiaal uit de nevengeul zich stroomopwaarts van de samenvloeiing met de hoofdgeul over een groter oppervlak gelijkmatiger zal verspreiden.

Halverwege de nevengeul (ter hoogte van de aansluiting met de Zimmerman geul) treedt contractie van de stroming op, die leidt tot een lokale uitschuring van de geul en op- en afwaartse sedimentatie.

Een vergelijking met de erosie-depositiepatronen van het referentiescenario (Figuur 4-62) toont dat er bij scenario 4 minder bodemevolutie plaatsvindt bij de Overloop van Valkenisse en de Bocht van Walsoorden.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is getoetst aan het criterium voor het behoud van het meergeulenstelsel (ondergrens van 27.83 M $[m^3]$). Het referentiescenario toont in 2019 (initiële bodem) een nevengeulvolume van 28.17 M $[m^3]$ en scenario 4 een volume van 30.40 M $[m^3]$. Initieel is door de volumetoename in scenario 4 ten opzichte van het referentiescenario de nieuwe situatie gunstiger voor het behoud van het meergeulenstelsel. Een verklaring voor deze toename is het feit dat een groot gedeelte van de zandversterkingen op locaties boven -5 [m NAP] hebben plaatsgevonden, waardoor dit niet wordt meegeteld de berekening in het meergeulenstelsel volume.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is ook berekend met de bathymetrie na een gesimuleerd jaar. Hieruit blijkt dat er bij het referentiescenario een afname is van het nevengeulvolume van -0.09 M $[m^3]$, terwijl scenario 4 een nevengeulvolume afname laat zien van -0.36 M $[m^3]$. De grotere afname van het nevengeulvolume kan een als een negatieve evolutie van scenario 4 worden beschouwd ten aanzien van het criterium behoud van het meergeulenstelsel. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 2.23 M $[m^3]$ als gevolg van de scenario-ingrepen, is het algemene scenario-effect nog steeds positief.



Figuur 4-68 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-69 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.



Figuur 4-70 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 4-71 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 4. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.







4.2.5 Scenario 5

Bodemveranderingen die plaatsvinden na een volledig gesimuleerd jaar bij scenario 5, worden in deze sectie getoond. De nieuw gebaggerde nevengeul oogt relatief stabiel ten opzichte van de jaarlijkse veranderingen in het referentiescenario (Figuur 4-60 tot en met Figuur 4-63). Door de wijziging in oriëntatie van de nevengeul waaiert de stroming aan het opwaartse uiteinde minder uit dan bij scenario 4, waardoor geërodeerd zand effectiever stroomopwaarts door de geul wordt gestuwd. Verder oogt de Plaat van Walsoorden stabieler dan in het referentiescenario, met name doordat de erosie van de zuidpunt van de plaat is verminderd. Noemenswaardig is de sedimentatie die zich heeft voorgedaan net onder de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse.

Halverwege de nevengeul (ter hoogte van de aansluiting met de Zimmerman geul) heeft de uitbreiding van talud van de nevengeul richting van de Plaat van Valkenisse in dit scenario geleid tot een groter dwarsoppervlak waardoor contractie van de stroming is weggenomen. Hierdoor, vindt er geen lokale uitschuring van de nevengeul plaats en geen op- en afwaartse sedimentatie.

Een vergelijking met de erosie-depositiepatronen van het referentiescenario (Figuur 4-62) toont dat er bij scenario 5 minder bodemevolutie plaatsvindt bij de Overloop van Valkenisse en de Bocht van Walsoorden.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is getoetst aan het criterium voor het behoud van het meergeulenstelsel (ondergrens van 27.83 M $[m^3]$). Het referentiescenario toont in 2019 (initiële bodem) een nevengeulvolume van 28.17 M $[m^3]$ en scenario 5 een volume van 32.80 M $[m^3]$. Initieel is door de volumetoename in scenario 5 ten opzichte van het referentiescenario de nieuwe situatie gunstiger voor het behoud van het meergeulenstelsel. Een verklaring voor deze toename is het feit dat een groot gedeelte van de zandversterkingen op locaties boven -5 [m NAP] hebben plaatsgevonden, waardoor dit niet wordt meegeteld de berekening in het meergeulenstelsel volume.

Het nevengeulvolume in macrocel 5 is ook berekend met de bathymetrie na een gesimuleerd jaar. Hieruit blijkt dat er bij het referentiescenario een afname is van het nevengeulvolume van -0.09 M $[m^3]$, terwijl scenario 5 een nevengeulvolume afname laat zien van -0.32 M $[m^3]$. De grotere afname van het nevengeulvolume kan een als een negatieve evolutie van scenario 5 worden beschouwd ten aanzien van het criterium behoud van het meergeulenstelsel. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 4.63 M $[m^3]$ als gevolg van de scenario-ingrepen, is het algemene scenario-effect nog steeds positief.



Figuur 4-73 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul).



Figuur 4-74 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Bruine (rode) contouren tonen de -5 [m TAW] hoogtelijn van 2019 (2020) bathymetrie.



Figuur 4-75 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van het referentiescenario. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur 4-76 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020 van scenario 5. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

4.3 Invloed op scheepvaart (diepgang, dwarsstroming)

De invloed van de beheerstrategie op scheepvaart, met name de bevaarbaarheid van de nevengeulen, wordt bestudeerd aan de hand van de bodemveranderingen en stromingsveranderingen.

Er wordt gekeken naar de verandering in diepte van de nevengeul. Daarbij wordt gestreefd naar een diepte van minstens -2.5 [m LAT] (circa -3 [m TAW]), met een voorkeur voor een minimale diepte van -3.5 [m LAT] (circa -4 [m TAW]). Op basis van de gesimuleerde bodemontwikkelingen wordt geconcludeerd of deze diepte op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd.

Voor wat betreft de stromingen is er enerzijds impact mogelijk op de scheepvaart in de hoofdgeul door gewijzigde dwarsstromingen ter hoogte van de aansluitingen met de nevengeul. Ervaring met het voorkomen van neren ter hoogte van het Gat van Ossenisse geeft aan dat dwarsstromingen in de hoofdvaargeul groter dan o.8 [m/s] dienen te worden vermeden (IMDC, 2009). Daarnaast dient het stromingsregime in de nevengeul scheepvaart met kleine diepgang (binnenvaartschepen en recreatieve schepen) toe te laten. Te hoge langs- of dwarsstroming in de nevengeul kan daarbij leiden tot moeilijke manoeuvreerbaarheid. Op basis van PIANC richtlijnen (PIANC, 2016) wordt voor de bevaarbaarheid van de nevengeul een maximale dwarssnelheid en langssnelheid gehanteerd van o.8 [m/s] en 1.5 [m/s], respectievelijk. Deze criteria gelden met name voor de recreatieve binnenvaart, waarbij geldt dat de kritieke snelheden eventueel overschreden mogen worden mits de breedte van de nevengeul het toestaat. In de volgende subsecties wordt de invloed op de bevaarbaarheid van scenario 1 tot en met 5 op zowel het tracé langs de hoofdgeul als ook op het tracé langs de nevengeul geanalyseerd.

4.3.1 Scenario 1

Op basis van de bodemontwikkelingen in Figuur 4-78 en Figuur 4-79, kan worden geobserveerd dat de minimaal benodigde diepte op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd. Er vindt echter een vernauwing van de nevengeul plaats, waar rekening mee moet worden gehouden om binnenvaart mogelijk te houden.

Voor wat betreft de invloed op scheepvaart in de hoofdgeul worden de dwarsstromingen langsheen het tracé van de hoofdgeul geanalyseerd (zie tracé talweg in Figuur 4-77 en resultaten in Bijlage F.1). Uit de resultaten blijkt dat in de hoofdgeul de dwarssnelheden overal kleiner zijn dan 0.5 [m/s], ook nabij de aansluiting met de nevengeul ter hoogte van KP5 en KP15 (Bijlage F.1).

De dieptegemiddelde langsnelheden in de nevengeul kunnen oplopen tot 1.5 [m/s] bij eb en 1.75 [m/s] bij vloed (Bijlage F.1) en zijn over bijna de gehele lengte van de nevengeul lager dan bij het referentiescenario. Deze waardes kunnen aanzienlijk zijn, maar bevaarbaar bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul. Tijdens vloed komen de grootste snelheden voor ter hoogte van de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-80). Gezien de haakse oriëntatie van de aansluiting van de nevengeul op de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse in dit scenario worden maximale dwarssnelheden tijdens eb van 0.7 [m/s] en tijdens vloed van 0.85 [m/s] gesimuleerd, waardoor onwenselijke condities voor de binnenvaart kunnen worden bereikt (Bijlage F.1 en Figuur 4-81). Afwaarts ter hoogte van de Drempel van Hansweert en in de geul zelf lijken geen belangrijke dwarsstromingspatronen voor te komen.



Figuur 4-77 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 1 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.







Figuur 4-79 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 1 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-80 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur 4-81 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario.

4.3.2 Scenario 2

Op basis van de bodemontwikkelingen in Figuur 4-83 en Figuur 4-84, kan worden geobserveerd dat de minimaal benodigde diepte niet op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd. Aan het opwaartse einde van de nevengeul, ter hoogte van de Overloop van Valkenisse, is er sedimentatie tot boven het minimale streefpeil (tot circa o [m TAW]). Onderhoud van de drempel is vereist.

Voor wat betreft de invloed op scheepvaart in de hoofdgeul worden de dwarsstromingen langsheen het tracé van de hoofdgeul geanalyseerd (zie tracé talweg in Figuur 4-82 en resultaten in Bijlage F.2. Uit de resultaten blijkt dat in de hoofdgeul de dwarssnelheden overal kleiner zijn dan 0.5 [m/s], ook nabij de aansluiting met de nevengeul ter hoogte van KP5 en KP15 (Bijlage F.2).

De dieptegemiddelde langsnelheden in de nevengeul kunnen oplopen tot 1.5 [m/s] bij eb en 1.75 [m/s] bij vloed (Bijlage F.2). Deze kunnen aanzienlijk zijn, maar bevaarbaar bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul. Tijdens vloed komen de grootste snelheden voor ter hoogte van de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-85). Gezien het stromingspatroon aan de aansluiting met de hoofdgeul nemen de dwarsstromingen in deze zone toe tot 0.45 [m/s] bij eb 0.55 [m/s] bij vloed (Bijlage F.2 en Figuur 4-86). Hierdoor blijft de dwarssnelheid dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Afwaarts ter hoogte van de Drempel van Hansweert en in de geul zelf lijken geen belangrijke dwarsstromingspatronen voor te komen.



Figuur 4-82 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 2 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.



Figuur 4-83 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-84 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 2 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-85 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.




4.3.3 Scenario 3

Op basis van de bodemontwikkelingen in Figuur 4-78 en Figuur 4-79, kan worden geobserveerd dat de minimaal benodigde diepte op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd. Er vindt echter een zuidwaartse migratie van de Plaat van Valkenisse plaats, welke na een gesimuleerd jaar nog geen hinder geeft maar in de gaten gehouden dient te worden na deze periode

Voor wat betreft de invloed op scheepvaart in de hoofdgeul worden de dwarsstromingen langsheen het tracé van de hoofdgeul geanalyseerd (zie tracé talweg in Figuur 4-77 en resultaten in Bijlage F.3). Uit de resultaten blijkt dat in de hoofdgeul de dwarssnelheden overal kleiner zijn dan 0.5 [m/s], ook nabij de aansluiting met de nevengeul ter hoogte van KP5 en KP15 (Bijlage F.3).

De dieptegemiddelde langsnelheden in de nevengeul kunnen (zeer lokaal) oplopen tot 1.45 [m/s] bij eb en 1.65 [m/s] bij vloed (Bijlage F.3) en zijn over bijna de gehele lengte van de nevengeul vergelijkbaar met de snelheden van het referentiescenario. Deze waardes zijn aanzienlijk en liggen rond de opgestelde bevaarbare grens van 1.5 [m/s]. Aangezien de langssnelheden in het referentiescenario ook boven deze grens reiken, kan bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul, de bevaarbaarheid toch worden gegarandeerd. Tijdens vloed komen de grootste snelheden in de nevengeul voor ter hoogte van de KP3.5, waar de Schaar van Waarde en Schaar van Valkenisse elkaar ontmoeten (Figuur 4-80). In dit scenario zijn de dwarssnelheden vergelijkbaar met die van het referentiescenario, en reiken niet hoger dan 0.3 [m/s], waardoor ruim aan gewenste vereisten voor de binnenvaart wordt voldaan (Figuur 4-81).



Figuur 4-87 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 3 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.



Figuur 4-88 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-89 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 3 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-90 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur 4-91 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario.

4.3.4 Scenario 4

Op basis van de bodemontwikkelingen in Figuur 4-83 en Figuur 4-84, kan worden geobserveerd dat de minimaal benodigde diepte niet overal langs de nevengeul op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd. Aan het opwaartse einde van de nevengeul, ter hoogte van de Overloop van Valkenisse, is er sedimentatie tot boven het minimale streefpeil. Onderhoud van deze drempel is dus vereist.

Voor wat betreft de invloed op scheepvaart in de hoofdgeul worden de dwarsstromingen langsheen het tracé van de hoofdgeul geanalyseerd (zie tracé talweg in Figuur 4-82 en resultaten in Bijlage F.4). Uit de resultaten blijkt dat in de hoofdgeul de dwarssnelheden overal kleiner zijn dan 0.5 [m/s], ook nabij de aansluiting met de nevengeul ter hoogte van KP5 en KP15 (Bijlage F.4).

De dieptegemiddelde langsnelheden in de nevengeul kunnen (over een lengte van ruim één kilometer) oplopen tot 1.55 [m/s] bij eb en 1.7 [m/s] bij vloed (Bijlage F.4). Deze waardes zijn aanzienlijk en liggen boven de opgestelde bevaarbare grens van 1.5 [m/s]. Hierdoor kan alleen bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul de bevaarbaarheid worden gegarandeerd. Tijdens vloed komen de grootste snelheden in de nevengeul voor ter hoogte van de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-85). Gezien de gladde overgang van de aansluiting van de nevengeul met de hoofdgeul nemen de dwarsstromingen in deze zone af bij vloed tot 0.25 [m/s] (Figuur 4-86) en blijven bij eb gelijk rond 0.4 [m/s] (Bijlage F.4). Hierdoor blijft de dwarssnelheid dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Afwaarts ter hoogte van de Drempel van Hansweert en in de geul zelf lijken geen belangrijke dwarsstromingspatronen voor te komen.



Figuur 4-92 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 4 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.



Figuur 4-93 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-94 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 4 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-95 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur 4-96 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario.

4.3.5 Scenario 5

Op basis van de bodemontwikkelingen in Figuur 4-83 en Figuur 4-84, kan worden geobserveerd dat de minimaal benodigde diepte langs het gehele tracé de nevengeul op natuurlijke wijze kan worden gegarandeerd. Aan de zuidzijde van de Plaat van Valkenisse vindt er in de nevengeul sedimentatie plaats die mogelijk op den duur tot boven het minimale streefpeil kan reiken. Echter, voor het gesimuleerde jaar zelf is onderhoud van deze drempel niet vereist.

Voor wat betreft de invloed op scheepvaart in de hoofdgeul worden de dwarsstromingen langsheen het tracé van de hoofdgeul geanalyseerd (zie tracé talweg in Figuur 4-82 en resultaten in Bijlage F.5). Uit de resultaten blijkt dat in de hoofdgeul de dwarssnelheden overal kleiner zijn dan 0.5 [m/s], ook nabij de aansluiting met de nevengeul ter hoogte van KP5 en KP15 (Bijlage F.5).

De dieptegemiddelde langsnelheden in de nevengeul kunnen (over een lengte van ruim één kilometer) oplopen tot 1.51 [m/s] bij eb en 1.68 [m/s] bij vloed (Bijlage F.5). Deze waardes zijn aanzienlijk en liggen in het geval van vloed duidelijk boven de opgestelde bevaarbare grens van 1.5 [m/s]. Hierdoor kan tijdens vloed alleen bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul de bevaarbaarheid worden gegarandeerd. Gezien de relatief gladde overgang van de aansluiting van de nevengeul met de hoofdgeul nemen de dwarsstromingen in deze zone af bij vloed tot 0.3 [m/s] (Figuur 4-86) en nemen ook bij eb af tot 0.35 [m/s] (Bijlage F.5). Stroomafwaarts, bij de ingang van de Schaar van Waarde is er een toename van de dwarssnelheden tijdens eb tot 0.48 [m/s]. Geconcludeerd kan worden dat de dwarssnelheid dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] blijft om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Afwaarts ter hoogte van de Drempel van Hansweert en in de hoofdgeul zelf lijken ook geen belangrijke dwarsstromingspatronen voor te komen.



Figuur 4-97 Locatie van de talweg hoofdgeul (rode stippellijn) en een indicatieve nevengeul (blauwe stippellijn) voor scenario 5 met kilometerpositie aanduidingen t.o.v. de Overloop van Hansweert en de Schaar van waarde, respectievelijk.



Figuur 4-98 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na opwarmen van de bodem (start 2019). Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-99 Bathymetrie [m TAW] van het Scheldemodel voor scenario 5 in het projectgebied Hansweert-Bath na een morfologisch gesimuleerd jaar. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2020 bathymetrie. Zwarte lijn (stippellijn) toont hoofdvaargeul (originele indicatieve nevenvaargeul van het referentiescenario). Rode lijnen tonen het -3 [m TAW] niveau. Blauwe lijnen tonen het -4 [m TAW] niveau.



Figuur 4-100 Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur 4-101 Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario.

4.4 Natuurlijkheid

Het criterium natuurlijkheid kan beoordeeld worden aan de hand van meerdere criteria. Het oppervlakte laagdynamisch litoraal is een van de kwaliteitsparameter hiervoor. Het aanwezige laagdynamisch litoraal wordt tweejaarlijks bepaald in de ecotopenkaarten van de Westerschelde. In deze sectie wordt een vergelijkbare analyse uitgevoerd waarbij aan de hand van waterstandsgrenzen en stroomsnelheden een (beperkte) classificatie wordt toegepast om arealen in het projectgebied aan ecotopen toe te kennen. Zie Paragraaf 2.2.2 voor hoe de grenzen zijn bepaald en een vergelijking met de werkelijke ecotopenkaart van de Westerschelde).

4.4.1 Referentiesimulatie

Figuur 2-12 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de referentie startbodem. In Tabel 4-11 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 2-12 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-102 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van het <u>referentiescenario</u>.

rererentiescenario.				
Туре	Referentiescenario			
Supralitoraal	7.07E+06 [m ²]			
Litoraal	2.46E+07 [m ²]			
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]			
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]			

Tabel 4-11 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario.

4.4.2 Scenario 1

Figuur 4-103 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de startbodem van scenario 1. In Tabel 4-12 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 4-103 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-103 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 1.

Scenario 1 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario (Tabel 4-12). Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 1 wordt voornamelijk waargenomen langs de noordoostrand van de Plaat van Walsoorden. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij zowel de Plaat van Walsoorden als de Plaat van Valkenisse.

Tabel 4-12 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario en scenario 1.

Туре	Referentiescenario	Scenario 1	Verschil (scenario – referentie)
Supralitoraal	7.07E+06 [m²]	7.09E+06 [m²]	2.19E+04 [m ²]
Litoraal	2.46E+07 [m ²]	2.56E+07 [m ²]	1.03E+06 [m ²]
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]	3.30E+07 [m ²]	-1.06E+06 [m ²]
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]	2.55E+07 [m ²]	9.81E+05 [m ²]

4.4.3 Scenario 2

Figuur 4-104 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de startbodem van scenario 2. In Tabel 4-13 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 4-104 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-104 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van <u>scenario 2</u>.

Scenario 2 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario (Tabel 4-13). Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 2 wordt voornamelijk waargenomen langs de noordoostrand en zuidoostrand van de Plaat van Walsoorden en de zuidwestrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij de Plaat van Walsoorden.

Tabel 4-13 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario en scenario 2.

Туре	Referentiescenario	Scenario 2	Verschil (scenario – referentie)
Supralitoraal	7.07E+06 [m ²]	7.08E+06 [m ²]	1.35E+04 [m²]
Litoraal	2.46E+07 [m ²]	2.53E+07[m ²]	7.33E+05 [m ²]
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]	3.33E+07 [m ²]	-7.47E+05 [m ²]
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]	2.61E+07 [m ²]	1.62E+06 [m ²]

4.4.4 Scenario 3

Figuur 4-103 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de startbodem van scenario 3. In Tabel 4-12 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 4-103 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-105 Berekende ecotopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 3.

Scenario 3 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario (Tabel 4-12). Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 3 wordt voornamelijk waargenomen aan de zuidkant van de Plaat van Valkenisse en aan de langs de zuidoostrand van de Plaat van Walsoorden. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij de Plaat van Walsoorden.

Tabel 4-14 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario en scenario 3.

		-	
Туре	Referentiescenario	Scenario 3	Verschil (scenario – referentie)
Supralitoraal	7.07E+06 [m²]	7.07E+06 [m ²]	-2.26E+03 [m ²]
Litoraal	2.46E+07 [m ²]	2.47E+07 [m ²]	1.42E+05 [m ²]
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]	3.39E+07 [m²]	-1.40E+05 [m ²]
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]	2.51E+07 [m ²]	5.74E+05 [m ²]

4.4.5 Scenario 4

Figuur 4-104 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de startbodem van scenario 4. In Tabel 4-13 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 4-104 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-106 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van scenario 4.

Scenario 4 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario (Tabel 4-13). Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 4 wordt voornamelijk waargenomen langs de oostzijde van de Plaat van Walsoorden en langs de gehele zuidrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt aan de oostzijde de Plaat van Walsoorden, als gevolg van de zandsuppletie in dit scenario.

Tabel 4-15 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario en scenario 4.

Туре	Referentiescenario	Scenario 4	Verschil (scenario – referentie)
Supralitoraal	7.07E+06 [m²]	7.07E+06 [m ²]	-4.24+03 [m ²]
Litoraal	2.46E+07 [m ²]	2.53E+07[m ²]	7.36E+05 [m ²]
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]	3.33E+07 [m ²]	-7.32E+05 [m ²]
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]	2.70E+07 [m ²]	2.53E+06 [m ²]

4.4.6 Scenario 5

Figuur 4-104 toont de locaties van de ecotopen die berekend zijn op basis de gesimuleerde spring-doodtij cyclus met de startbodem van scenario 5. In Tabel 4-13 worden de berekende oppervlaktes van de ecotopen getoond, waarbij alleen areaal zichtbaar in Figuur 4-104 in beschouwing is genomen.



Figuur 4-107 Berekende ecoptopen in het Scheldemodel voor de startbodem van <u>scenario 5</u>.

Scenario 5 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario (Tabel 4-13). Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 5 wordt voornamelijk waargenomen langs de oostzijde en zuidzijde van de Plaat van Walsoorden en langs gedeeltes van de zuidrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt aan de oost- en zuidzijde de Plaat van Walsoorden, als gevolg van de zandsuppletie in dit scenario.

Tabel 4-16 Berekende oppervlaktes [m²] van ecotopen en laag-dynamisch gebied voor het referentiescenario en scenario 5.

Туре	Referentiescenario	Scenario 5	Verschil (scenario – referentie)
Supralitoraal	7.07E+06 [m ²]	7.06E+06 [m ²] -7.28+03 [m ²]
Litoraal	2.46E+07 [m ²]	2.54E+07[m ²]	7.66E+05 [m ²]
Sublitoraal	3.41E+07 [m ²]	3.33E+07 [m ²]	-7.59E+05 [m ²]
Laag-dynamisch	2.45E+07 [m ²]	2.66E+07 [m ²]	2.13E+06 [m ²]

4.5 Veiligheid (hoogwater, getijslag)

Ten behoeve van de veiligheid met betrekking tot hoogwater en de getijslag, wordt er in deze studie ook gekeken naar het effect van de scenario-ingrepen op de waterstand doorheen het Schelde estuarium.

4.5.1 Scenario 1

Figuur 4-108 toont de getij-amplitudes [m TAW] van een gemiddeld getij in scenario 1 en het referentiescenario. Hieruit wordt duidelijk dat er een toename is (~0.5 [cm]) stroomafwaarts van de scenario-ingrepen en een afname stroomopwaarts (~0.5 [cm]). Een aantal tijdseries van waterstanden bij Walsoorden en Bath doorheen een getijcylcus worden getoond in Bijlage D.1. Figuur 4-109 en Figuur 4-110 tonen aan dat de toename in getij-amplitude sterker wordt beïnvloed door de verandering van het hoogwaterniveau dan door de verandering van het laagwaterniveau.



Figuur 4-108 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur 4-109 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur 4-110 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 1 en het referentiescenario.

4.5.2 Scenario 2

Figuur 4-111 toont de getij-amplitudes [m TAW] van een gemiddeld getij in scenario 2 en het referentiescenario. Hieruit wordt duidelijk dat er een toename is (tot ~0.5 [cm]) stroomafwaarts van de scenario-ingrepen en een toename stroomopwaarts van maximaal 1 [cm]. Verder toont Walsoorden een kleine afname in amplitude (~0.5 [cm]). Een aantal tijdseries van waterstanden bij Walsoorden en Bath doorheen een getijcylcus worden getoond in Bijlage D.2. Figuur 4-112 en Figuur 4-113 tonen aan dat de toename in getij-amplitude sterker wordt beïnvloed door de verandering van het hoogwaterniveau dan door de verandering van het laagwaterniveau.



Figuur 4-111 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur 4-112 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur 4-113 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 2 en het referentiescenario.

4.5.3 Scenario 3

Figuur 4-108 toont de getij-amplitudes [m TAW] van een gemiddeld getij in scenario 3 en het referentiescenario Hieruit wordt duidelijk dat er langsheen het Schelde estuarium tot aan Schelle een toename is tot ~1.5 [cm]. Dit is een negatief effect van de scenarioingreep en is vanuit een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk. Een aantal tijdseries van waterstanden bij Walsoorden en Bath doorheen een getijcylcus worden getoond in Bijlage D.3. Dit kan mogelijk gekoppeld worden aan de toename van het totale volume (netto meer baggeren) en de verschuiving van areaal van sublitoraal naar litoraal (diepere geulen). Figuur 4-115 en Figuur 4-116 tonen aan dat de toename in getij-amplitude sterker wordt beïnvloed door een toename van het hoogwaterniveau dan door een afname van het laagwaterniveau.



Figuur 4-114 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur 4-115 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens hoogwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur 4-116 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 3 en het referentiescenario.

4.5.4 Scenario 4

Figuur 4-111 toont de getij-amplitudes [m TAW] van een gemiddeld getij in scenario 4 en het referentiescenario. Hieruit wordt duidelijk dat er langsheen het Schelde estuarium tot aan Schelle een toename is tot ~2.5 [cm]. Dit is een negatief effect van de scenarioingreep en is vanuit een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk. Een aantal tijdseries van waterstanden bij Walsoorden en Bath doorheen een getijcylcus worden getoond in Bijlage D.4. Dit kan mogelijk gekoppeld worden aan de verschuiving van areaal van sublitoraal naar litoraal (diepere geulen). Figuur 4-118 en Figuur 4-119 tonen aan dat, stroomopwaarts van de scenario-ingrepen, de toename in getij-amplitude bijna geheel toe te wijden is aan een toename van het hoogwaterniveau.



Figuur 4-117 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur 4-118 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens hoogwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur 4-119 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 4 en het referentiescenario.

4.5.5 Scenario 5

Figuur 4-111 toont de getij-amplitudes [m TAW] van een gemiddeld getij in scenario 5 en het referentiescenario. Hieruit wordt duidelijk dat er langsheen het Schelde estuarium tot aan Schelle een toename is tot ~2.7 [cm]. Dit is een negatief effect van de scenarioingreep en is vanuit een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk. Een aantal tijdseries van waterstanden bij Walsoorden en Bath doorheen een getijcylcus worden getoond in Bijlage D.5. Dit kan mogelijk gekoppeld worden aan de verschuiving van areaal van sublitoraal naar litoraal (diepere geulen). Figuur 4-118 en Figuur 4-119 tonen aan dat, stroomopwaarts van de scenario-ingrepen, de toename in getij-amplitude bijna geheel toe te wijden is aan een toename van het hoogwaterniveau.



Figuur 4-120 Linker y-as: Getij-amplitude [m TAW] onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil getijamplitude [m TAW] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur 4-121 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens hoogwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur 4-122 Linker y-as: Waterstand [m TAW] tijdens laagwater onder gemiddelde getijcondities langsheen het Schelde estuarium voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in water niveau [m TAW] tussen scenario 5 en het referentiescenario.

4.6 Onderhoudsbehoefte (baggervolumes)

Voor het bepalen van de scenario-effecten op het baggerbezwaar wordt in deze studie gefocust op de baggerlocatie van de Overloop van Valkenisse. Figuur 4-123 toont de polygoon die in beschouwing is genomen om het baggerbezwaar in de Overloop van Valkenisse te bepalen. In de berekening wordt het volume bepaald van het zand dat boven de onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar. Er wordt opgemerkt dat om verschillende reden dit baggerbezwaar niet direct kan worden vergeleken met de werkelijke onderhoudshoeveelheden in de hoofdgeul (zie ook paragraaf 2.2.1). De resultaten uit dit hoofdstuk zeggen daarom meer over het systeemgedrag, dan over de daadwerkelijke besparing of toename van het baggeronderhoud.



Figuur 4-123 Polygoon (rood gestippelde lijn) die in beschouwing is genomen om het baggerbezwaar in de Overloop van Valkenisse te bepalen. Geplot bovenop 2019 referentiebathymetrie.

4.6.1 Scenario 1

Volumeberekeningen zijn uitgevoerd om het baggerbezwaar van de scenario-ingrepen te bepalen bij de Overloop van Valkenisse na een morfologisch gesimuleerd jaar (Tabel 4-17). Hieruit blijkt dat het baggerbezwaar bij scenario 1 ten opzichte van het referentiescenario toeneemt.

Tabel 4-17 Volumeberekeningen [m³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.

		1/	ι,	
Baggerlocatie		Referentiescenario [m³]	Scenario 1 [m ³]	Verschil [m³] (scenario – referentie)
Overloop Valkenisse	van	2.05E+05	1.88E+06	1.68E+06

4.6.2 Scenario 2

Volumeberekeningen zijn uitgevoerd om het baggerbezwaar van de scenario-ingrepen te bepalen bij de Overloop van Valkenisse na een morfologisch gesimuleerd jaar (Tabel 4-18). Hieruit blijkt dat het baggerbezwaar bij scenario 2 ten opzichte van het referentiescenario afneemt.

Tabel 4-18 Volumeberekeningen [m³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.

Baggerlocatie		Referentiescenario	Scenario 2	Verschil (scenario – referentie)
Overloop Valkenisse	van	2.05E+05	3.44E+04	-1.70E+05

4.6.3 Scenario 3

Volumeberekeningen zijn uitgevoerd om het baggerbezwaar van de scenario-ingrepen te bepalen bij de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-123) na een morfologisch gesimuleerd jaar (Tabel 4-17). Hieruit blijkt dat het baggerbezwaar bij scenario 3 ten opzichte van het referentiescenario afneemt.

Tabel 4-19 Volumeberekeningen [m³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.

Baggerlocatie		Referentiescenario [m³]	Scenario 3 [m³]	Verschil (scenario – referentie)[m³]
Overloop Valkenisse	van	2.05E+05	4 . 72E+04	-1.58+05

4.6.4 Scenario 4

Volumeberekeningen zijn uitgevoerd om het baggerbezwaar van de scenario-ingrepen te bepalen bij de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-123) na een morfologisch gesimuleerd jaar (Tabel 4-18). Hieruit blijkt dat het baggerbezwaar bij scenario 4 ten opzichte van het referentiescenario afneemt.

Tabel 4-20 Volumeberekeningen [m³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.

Baggerlocatie		Referentiescenario [m³]	Scenario 4 [m ³]	Verschil (scenario – referentie)[m³]
Overloop Valkenisse	van	2.05E+05	2.29E+04	-1.82E+05

4.6.5 Scenario 5

Volumeberekeningen zijn uitgevoerd om het baggerbezwaar van de scenario-ingrepen te bepalen bij de Overloop van Valkenisse (Figuur 4-123) na een morfologisch gesimuleerd jaar (Tabel 4-18). Hieruit blijkt dat het baggerbezwaar bij scenario 5 ten opzichte van het referentiescenario afneemt.



Baggerlocatie		Referentiescenario [m³]	Scenario 5 [m³]	Verschil (scenario – referentie)[m³]
Overloop Valkenisse	van	2.05E+05	8.98E+04	-1.15E+05

Tabel 4-21 Volumeberekeningen [m³] van zand dat boven onderhoudsdiepte van de vaargeul (-14.5 [m LAT]) komt na een gesimuleerd morfologisch jaar.

5 Samenvatting van de resultaten

In deze studie zijn alternatieve morfologische beheeringrepen onderzocht rond de Platen van Walsoorden en Valkenisse in de Westerschelde door middel van scenarioanalyse met het numerieke morfodynamische Scheldemodel. De vijf scenario's in deze studie zijn iteratief uitgevoerd. Dit houdt in dat er na het uitvoeren en evalueren van elk scenario, er door middel van expert judgement een nieuw scenario is aangedragen om, na overleg met de klant, te simuleren. De bevindingen van elk scenario zijn in onderstaande secties beschreven.

5.1 Scenario 1

Modelresultaten tonen aan dat de beheeringrepen van scenario 1 een vernauwing van de nevengeul teweegbrengen, waardoor er een verhoging van de stroomsnelheid in de hoofdgeul en een verlaging van de stroomsnelheid in de Schaar van Waarde optreedt. Naast een lokale verhoging van de stroomsnelheid in de vernauwde Schaar van Valkenisse is zichtbaar dat er ook een verhoogde stroomsnelheid in de Overloop van Valkenisse is (lokale toename tot 0.35 [m/s]). Mede door de haakse oriëntatie van de aansluiting van de nevengeul op de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse in dit scenario worden langs het beoogde tracé dwarssnelheden tijdens maximale vloed van 0.85 [m/s] gesimuleerd, waardoor onwenselijke condities voor de binnenvaart kunnen worden bereikt.

Resultaten van het debiet door raaien in het projectgebied laten zien dat er een toename is van het totale eb- en vloedvolume in de hoofdgeul en een afname in de nevengeul en de geul van Zimmerman. Over het gehele estuarium gezien neemt het getijvolume als gevolg van de scenario-ingreep af. Opwaarts van de ingrepen bedraagt de afname circa 0.2%. Afwaarts is een maximale van afname -1.3 [%] bij Raai 5 tijdens eb berekend. Daarmee samenhangend neemt ook de getijslag stroomafwaarts van de scenario-ingreep licht toe (+0.5 [cm]) en stroomopwaarts af (maximaal -1 [cm]). Door de scenario-ingrepen neemt het nevengeulvolume (onder de -5 [m NAP]) toe in scenario 1 ten opzichte van het referentiescenario en is dus gunstig voor het behoud van het meergeulenstelsel.

Scenario 1 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario. Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 1 wordt voornamelijk waargenomen langs de noordoostrand van de Plaat van Walsoorden. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij zowel de Plaat van Walsoorden als de Plaat van Valkenisse.

Morfologische resultaten laten zien dat in een jaar tijd de stortingen aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse een sterke migratie zuidwaarts richting de hoofdgeul hebben ondergaan. Aan zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden lijkt de aanzet gegeven te worden voor een uitbochting in oostelijke richting, echter wel gepaard met een versteiling van de nevengeul. Op de locatie van uitdieping van de Schaar van Waarde neemt de sedimenterende trend af. Vanuit de verandering in diepte van de nevengeul kan worden geconstateerd dat, ondanks de vernauwing van de nevengeul, de minimaal benodigde diepte van -3.5 [m LAT] behouden blijft. Ook blijkt dat een daling van het nevengeulvolume bij het referentiescenario na 1 jaar wordt omgezet in een stijging van het geulvolume. Deze kerende trend van het nevengeulvolume kan een als een positieve evolutie van scenario 1 worden beschouwd voor de ontwikkeling van de nevengeul, en het behoud van het meergeulenstelsel. Als gevolg van het stroomopwaarts migrerend sediment vanuit de nevengeul, verandert de vorm van de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse sterker dan bij het referentiescenario. Dit zorgt voor een toename in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse ten opzichte van het referentiescenario met ruim 800 [%] in een jaar tijd.

Vanuit de resultaten kan geconcludeerd worden dat, in één jaar tijd, de huidige scenario-ingrepen niet leiden een (natuurlijke) verdieping van het nevengeultracé door de Scharen van Waarde en Valkenisse, noch tot het terugbrengen van de Plaat van Walsoorden terug naar zijn oorspronkelijke vorm van 10 jaar geleden. Ook zorgen de ingrepen voor nadelige randeffecten zoals een lokale sterke toename van de dwarsstroming in de nevengeul en een sterke toename van het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse. De ingreep zoals voorgesteld in Scenario 1 heeft daardoor in de huidige vorm geen duurzaam karakter en draagt niet bij tot het behalen van de vooropgestelde hydromofologische doelstellingen.

5.2 Scenario 2

Modelresultaten tonen aan dat de beheeringrepen van scenario 2 een vernauwing van de nevengeul teweegbrengen, waardoor er een verhoging van de stroomsnelheid in de hoofdgeul bij de bocht van Walsoorden plaatsvindt en er een verlaging van de stroomsnelheid in de Schaar van Waarde optreedt. Door de oostwaartse verlegging van de nevengeul neemt de stroomsnelheid door de vernauwde Schaar van Valkenisse toe en neemt de stroomsnelheid in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse af. De maximale dwarsstroming die langs het beoogde tracé in de nevengeul wordt bereikt is 0.55 [m/s] en blijft dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen.

Resultaten van het debiet door raaien in het projectgebied laten zien dat er een toename is van het totale eb- en vloedvolume in de hoofdgeul en een afname in de nevengeul. De geul van Zimmerman laat een lichte afname zien van het vloedvolume (2.4 [%]) en een toename van het ebvolume (7.8 [%]). Over het gehele estuarium gezien verandert het getijvolume als gevolg van de scenario-ingreep. Opwaarts van de ingrepen is een toename van circa 0.15% berekend. Afwaarts bedraagt de afname maximaal -5.5 [%] bij Raai 5 tijdens eb. Daarmee samenhangend neemt ook de getijslag stroomafwaarts van de scenario-ingreep licht toe (maximaal +0.5 [cm]) en stroomopwaarts af (maximaal -1 [cm]). Door de scenario-ingrepen neemt (initieel) het nevengeulvolume (onder de -5 [m NAP]) af in scenario 2 tot onder de vastgestelde ondergrens voor macrocel 5 (meergeulencriterium). Een verklaring voor deze afname is het feit dat een groot gedeelte van de zandversterkingen op locaties beneden -5 [m NAP] hebben plaatsgevonden en dat de verdiepingen bij de verlegging van de nevengeul onvoldoende is om dit te compenseren.

Scenario 2 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario. Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 2 wordt voornamelijk waargenomen langs de noordoostrand en zuidoostrand van de Plaat van Walsoorden en de zuidwestrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij de Plaat van Walsoorden.

Morfologische resultaten laten zien dat de zuidoostelijke punt de Plaat van Walsoorden, waar voorheen een eroderende trend was, relatief stabiel is en zich zelfs licht uitbreidt in een oostelijke richting. Op de locatie van de verlegde nevengeul is zichtbaar dat in een jaar tijd bodemvormen met een amplitude van enkele meters zijn ontstaan op de initieel gladde bodem. Over het algemeen is hier een migratie zichtbaar in een stroomopwaartse richting, waarbij het sediment terechtkomt net ten oosten van het zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. Dit kan het gevolg zijn van een plotse verwijding van de nevengeul. De bodemverandering bij de geul van Zimmerman in scenario 2 zijn nagenoeg gelijk aan de veranderingen bij het referentiescenario en tonen geen duidelijke aanzet tot heractivering. Uit de verandering in diepte van de nevengeul kan worden geconstateerd dat, na een jaar, de minimaaal benodigde diepte van -3.5 [m LAT] niet overal behouden blijft. Hierdoor zal onderhoud van de drempel vereist zijn. Wel blijkt dat na de initiële afname van het nevengeulvolume er sprake is van een stijging van het volume na 1 jaar. Deze kerende trend van het nevengeulvolume kan een als een positieve evolutie van scenario 2 worden beschouwd voor de ontwikkeling van de nevengeul en voor het behoud van het meergeulenstelsel. De vorm van vorm van de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse verandert in dit scenario minder sterke dan bij het referentiescenario. Dit zorgt voor een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse ten opzichte van het referentiescenario van -83 [%] in een jaar tijd.

Vanuit de resultaten kan niet geconcludeerd worden dat de huidige scenario-ingrepen leiden tot het verjongen van de Plaat van Valkenisse. De zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden is relatief stabiel en er is een migratie van sediment in de nevengeul zichtbaar in zuidoostelijke richting. Op dit zuidelijke punt van de nevengeul zal onderhoud vereist zijn om de minimaal benodigde diepte te kunnen garanderen. Op den duur kan een afname van het totale debiet door de nevengeul zelfs zorgen voor verondieping van nevengeul en de geul van Zimmerman. Een positieve bijkomstigheid bij dit scenario is een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse.

5.3 Scenario 3

Modelresultaten tonen aan dat de beheeringrepen van scenario 3 een verhoging van de stroomsnelheid tijdens zowel eb als vloed in de nevengeul en bij de Schaar van Waarde teweegbrengen en een verlaging van de stroomsnelheid in hoofdgeul brengen. Bovenop de Plaat van Valkenisse en in de geul van Zimmerman nemen de stroomsnelheden licht af. Mede door aangepaste oriëntatie van de aansluiting van de nevengeul op de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse in dit scenario worden langs het beoogde tracé lagere dwarssnelheden tijdens maximale eb en vloed gesimuleerd dan bij het referentiescenario. Doordat de maximale dwarssnelheden (0.25 [m/s]) ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] blijven, wordt aan dit dwarssnelheidscritica voldaan om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Voor wat betreft de langssnelheden, toont scenario 3 tijdens vloed zeer lokaal hoge waardes in de nevengeul rond de 1.65 [m/s]. Gezien dat de langssnelheden in het referentiescenario ook boven de grens van 1.5 [m/s] reiken, kan bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul, de bevaarbaarheid toch worden gegarandeerd.

Resultaten van het debiet door raaien in het projectgebied laten zien dat er een afname is van het totale eb- en vloedvolume in de hoofdgeul en een toename in de nevengeul. Over het gehele estuarium, behalve rond de ingrepen, neemt het getijvolume toe. Opwaarts van de ingrepen bedraagt de toename circa 0.25%. Afwaarts is een maximale van afname 0.35 [%] bij Raai 6 tijdens eb berekend. Daarmee samenhangend neemt ook de gemiddelde getijslag stroomop- en afwaarts van de scenario-ingreep licht toe tot maximaal 1.5 [cm]. Door de scenario-ingrepen neemt ook het nevengeulenvolume (onder de -5 [m NAP]) initieel toe in scenario 3 ten opzichte van het referentiescenario en is dus gunstig voor het behoud van het meergeulenstelsel.

Scenario 3 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario. Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 3 wordt voornamelijk waargenomen aan de zuidkant van de Plaat van Valkenisse en aan de langs de zuidoostrand van de Plaat van Walsoorden. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt bij de Plaat van Walsoorden.

Morfologische resultaten laten zien dat in een jaar tijd de grootste bodemveranderingen plaatsvinden aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. Hierbij lijkt de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse naar het zuiden uit te bouwen, waarbij de nieuwe nevengeul zeer lokaal verondiept. Verder is een terugtrekking van de nieuw aangelegde zuidoost punt van de Plaat van Walsoorden zichtbaar. Dit is in de lijn der verwachtingen, gezien dat scenario 3 sterk lijkt op de situatie van het nevengeulstelsel in 2015 waarbij er zich een algemene migratie van de nevengeul in westelijke richting voordeed. Vanuit de verandering in diepte van de nevengeul kan worden geconstateerd dat de minimaal benodigde diepte van -3.5 [m LAT] behouden blijft. In een jaar tijd vind er een sterkere daling van het nevengeulvolume plaats dan bij het referentiescenario. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 3.72 M [m³] als gevolg van de scenarioingrepen, is het algemene scenario-effect op het behoud van het meergeulenstelsel nog steeds positief Een bijkomend gevolg van de nieuwe geïmplementeerde nevengeul is een afname van de bodemveranderingen in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse. Dit zorgt voor een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse ten opzichte van het referentiescenario van -77 [%] in een jaar tijd.

Vanuit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de huidige scenario-ingrepen leiden tot een toename van het debiet door de nevengeul. De natuurlijke verdieping van het nevengeultracé door de Scharen van Waarde en Valkenisse blijft echter uit. Dezelfde morfologische trend als in de referentie situatie (2019) wordt waargenomen, waarbij de nieuw aangelegde zuidpunt van de Plaat van Walsoorden zich westwaarts terugtrekt en de zuidpunt van de Plaat van Valkenisse zich verder uitbouwt. Een positief effect bij dit scenario is de toename van het watervolume in het nevengeulstelsel en laagdynamisch litoraal gebied. Ook zijn de ingrepen relatief stabiel, zodat er na een jaar nog geen onderhoudswerkzaamheden nodig zijn om de bevaarbaarheid te kunnen garanderen. Een laatste positieve bijkomstigheid bij dit scenario is een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse in de hoofdgeul ten opzichte van het referentiescenario van circa -75 [%] in een jaar tijd. Daarentegen is de toename van de gemiddelde getijslag stroomop- en afwaarts van de scenario-ingreep van maximaal 1.5 [cm] een negatieve ontwikkeling en is vanuit een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk.

5.4 Scenario 4

Modelresultaten tonen aan dat ondanks de ruimere geuldoorsnede de beheeringrepen van scenario 4 tijdens vloed een verhoogde weerstand langs het nevengeultracé teweegbrengen, waardoor er globaal een verhoging van de stroomsnelheid in de hoofdgeul en een verlaging van de stroomsnelheid in de Schaar van Waarde optreedt. Bij eb is dit echter omgekeerd en neemt de stroomsnelheid toe in de nevengeul en af in de hoofdgeul. Dit is consistent met de verandering in de eb- en vloeddebieten, zie hieronder. Blijkbaar ondervindt de stroming tijdens vloed meer hinder van het opgelegde profiel, wat mogelijk blijkt uit de contractie halverwege de geul en de toename bodemschuifspanningen in de geul. Door de aangepaste doorsnede van de nevengeul neemt de stroomsnelheid door de Schaar van Valkenisse toe; door de aangepaste aansluiting met de hoofdgeul neemt de stroomsnelheid in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse af. De maximale dwarsstroming die langs het beoogde tracé in de nevengeul wordt bereikt is 0.4 [m/s] en blijft dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Voor wat betreft de langssnelheden, toont scenario 4 tijdens vloed over een lengte van ruim één kilometer hoge waardes in de nevengeul rond de 1.7 [m/s]. Hierdoor kan alleen bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul de bevaarbaarheid worden gegarandeerd.

Resultaten van het debiet door raaien in het projectgebied laten zien dat er een toename is van het totale volume tijdens vloed in de hoofdgeul en een afname in de nevengeul. Het omgekeerde geldt voor het totale volume tijdens eb. De geul van Zimmerman laat een afname zien van het vloedvolume (-18.93 [%]) en een toename van het ebvolume (4.82 [%]). Over het gehele estuarium gezien verandert het getijvolume als gevolg van de scenario-ingreep. Opwaarts van de ingrepen is een toename van circa 0.50% berekend. Afwaarts bedraagt de toename maximaal 0.18 [%] bij Raai 9 tijdens eb. Daarmee samenhangend neemt ook de gemiddelde getijslag stroomop- en afwaarts van de scenario-ingreep toe tot maximaal 2.5 [cm]. Door de scenario-ingrepen neemt ook het nevengeulenvolume (onder de -5 [m NAP]) initieel toe in scenario 4 ten opzichte van het referentiescenario en is dus gunstig voor het behoud van het meergeulenstelsel.

Scenario 4 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario. Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 4 wordt voornamelijk waargenomen langs de oostzijde van de Plaat van Walsoorden en langs de gehele zuidrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt aan de oostzijde de Plaat van Walsoorden, als gevolg van de zandsuppletie in dit scenario.

Morfologische resultaten laten zien dat de nieuw gebaggerde nevengeul na een jaar relatief stabiel oogt ten opzichte van de jaarlijkse veranderingen in het referentiescenario. Noemenswaardig is de sedimentatie die heeft opgetreden bij de uitloop van de nevengeul in de hoofdgeul en aan de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. De nevengeul bocht zich uit tegen de aangebrachte versterking van de nieuwe zuidoostpunt van de Plaat van Walsoorden, welke zich versteild door erosie aan de onderkant van de helling en sedimentatie boven op de smalle plaat. Ondanks een grotere stroomsnelheid in de nevengeul bij het huidige scenario 4 dan bij scenario 2, waaiert de stroming teveel uit om de nevengeul bij de uitloop in de hoofdgeul op een natuurlijke wijze te onderhouden. Zand wordt weliswaar door de geul stroomopwaarts gestuwd, maar komt tot stilstand en hoopt zich op bij de samenvloeiing met de hoofgeul. De bodemverandering bij de geul van Zimmerman in scenario 4 zijn nagenoeg gelijk aan de veranderingen bij het referentiescenario. Uit de verandering in diepte van de nevengeul kan worden geconstateerd dat, na een jaar, de minimaal benodigde diepte van -3.5 [m LAT] niet behouden blijft bij het stroomopwaartse einde van de nevengeul. Hierdoor zal onderhoud van de drempel vereist zijn. In een jaar tijd vind er een sterkere daling van het nevengeulvolume plaats dan bij het referentiescenario. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 2.23 M [m³] als gevolg van de scenario-ingrepen, is het algemene scenario-effect op het behoud van het meergeulenstelsel nog steeds positief. Een bijkomend gevolg van de nieuwe geïmplementeerde nevengeul is een afname van de bodemveranderingen in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse. Dit zorgt voor een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse ten opzichte van het referentiescenario van circa -90 [%] in een jaar tijd.

Vanuit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de nieuw aangelegde geul en zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden relatief stabiel is en er een migratie van sediment in de nevengeul zichtbaar is in een stroomopwaartse richting. Bij het stroomopwaartse einde van de nevengeul zal onderhoud vereist zijn om de minimaal benodigde diepte te kunnen garanderen. Op den duur kan een afname van het totale debiet door de nevengeul zorgen voor verondieping van nevengeul. Een positieve bijkomstigheid bij dit scenario is een afname in het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse. Een negatieve bijkomstigheid is een toename van de gemiddelde getijslag tot wel 2.5 [cm] en is vanuit een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk.

5.5 Scenario 5

Modelresultaten tonen aan dat door de ruimere geuldoorsnede van de nevengeul bij scenario 5 er een lichte afname is van de stroomsnelheid in de hoofdgeul en bij de ingang van de Schaar van Waarde. Voor eb neemt de stroomsnelheid sterker toe in de nevengeul en neemt sterker af in de hoofdgeul. Blijkbaar ondervindt de stroming door de nevengeul tijdens vloed meer hinder van het opgelegde profiel, wat mogelijk volgt uit het verschuiven van sedimentvolume van sublitoraal, naar litoraal. Dit is consistent met de verandering in de eb- en vloeddebieten, welke hieronder worden beschreven. Ook kan het verwacht worden dat de stroming in de hoofdgeul tijdens vloed meer profiteert van de gewijzigde aansluiting ter hoogte van de Overloop van Valkenisse (i.e. het wegnemen van de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse) , en hierdoor de contractie verminderen waardoor de stroming in de hoofdgeul wordt bevorderd, ten koste van mogelijke winst in de nevengeul (die tijdens eb wel aanwezig is). De opwaartse toename van hoogwaterstanden (zie hieronder) lijkt dus voornamelijk veroorzaakt te worden door het wegnemen van de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse.

Door de aangepaste doorsnede van de nevengeul neemt de stroomsnelheid door de Schaar van Valkenisse toe; door de aangepaste aansluiting met de hoofdgeul neemt de stroomsnelheid in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse af. De maximale dwarsstroming die langs het beoogde tracé in de nevengeul wordt bereikt is 0.48 [m/s] en blijft dus ruim onder de grenswaarde van 0.8 [m/s] om een veilige binnenvaart te kunnen garanderen. Voor wat betreft de langssnelheden, toont scenario 5 tijdens vloed over een lengte van ruim één kilometer hoge waardes in de nevengeul net onder de 1.7 [m/s]. Hierdoor kan alleen bij voldoende behoud van de breedte van de nevengeul de bevaarbaarheid worden gegarandeerd.

Resultaten van het debiet door raaien in het projectgebied laten zien dat, zoals beoogd, tijdens eb het totale volume afneemt in de hoofdgeul (tot -8%) en toeneemt in de nevengeul (tot 22[%]). Echter, tijdens vloed is er nagenoeg geen verandering ten opzichte van de referentie: er is een lichte afname van het totale volume in de hoofden nevengeul (tot -1 [%]).De geul van Zimmerman laat een afname zien van het vloedvolume (-11.3 [%]) en een toename van het ebvolume (3.94 [%]). Over het gehele estuarium gezien verandert het getijvolume als gevolg van de scenario-ingreep. Opwaarts van de ingrepen is een toename van circa 0.50% berekend. Afwaarts bedraagt de toename maximaal 0.25 [%] bij Raai 9 tijdens eb. Daarmee samenhangend neemt ook de gemiddelde getijslag stroomop- en afwaarts van de scenario-ingreep toe tot maximaal 2.7 [cm]. Door de scenario-ingrepen neemt ook het nevengeulenvolume (onder de -5 [m NAP]) initieel toe in scenario 5 ten opzichte van het referentiescenario en is dus gunstig voor het behoud van het meergeulenstelsel.

Scenario 5 laat een toename zien in het laagdynamisch areaal ten opzichte van het referentiescenario. Laagdynamisch litoraal wordt beschouwd als ecologisch waardevol

gebied en een toename wordt dus positief beoordeeld voor de natuurlijkheid van het estuarium. De toename in het laagdynamisch gebied bij scenario 5 wordt voornamelijk waargenomen langs de oostzijde en zuidzijde van de Plaat van Walsoorden en langs gedeeltes van de zuidrand van de Plaat van Valkenisse. Daarnaast wordt ook een uitbreiding van het intertidaal gebied opgemerkt aan de oost- en zuidzijde de Plaat van Walsoorden, als gevolg van de zandsuppletie in dit scenario.

Morfologische resultaten laten zien dat de nieuw gebaggerde nevengeul na een jaar relatief stabiel oogt ten opzichte van de jaarlijkse veranderingen in het referentiescenario. Door de wijziging in oriëntatie van de nevengeul waaiert de stroming aan het opwaartse uiteinde minder uit dan bij scenario 4, waardoor geërodeerd zand effectiever stroomopwaarts door de geul wordt gestuwd. Verder oogt de Plaat van Walsoorden stabieler dan in het referentiescenario, met name doordat de erosie van de zuidpunt van de plaat is verminderd. Halverwege de nevengeul (ter hoogte van de aansluiting met de Zimmerman geul) heeft de uitbreiding van het talud van de nevengeul richting van de Plaat van Valkenisse in dit scenario geleid tot een groter dwarsoppervlak waardoor contractie van de stroming is weggenomen. Hierdoor, vindt er (ten opzichte van scenario 4) minder lokale uitschuring van de nevengeul plaats en is er nagenoeg geen sprake van op- en afwaartse sedimentatie in de geul. Noemenswaardig is de sedimentatie die zich heeft voorgedaan net onder de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. De bodemverandering bij de geul van Zimmerman in scenario 5 zijn nagenoeg gelijk aan de veranderingen bij het referentiescenario.

Uit de verandering in diepte van de nevengeul kan worden geconstateerd dat, na een jaar, de minimale diepte van -3.5 [m LAT] behouden blijft langs het gehele tracé van de nevengeul. Hierdoor is onderhoud van de drempel niet direct vereist. In een jaar tijd vind er een iets sterkere daling van het nevengeulvolume plaats dan bij het referentiescenario. Echter, door een initiële toename van het nevengeulvolume met 4.63 M [m³] als gevolg van de scenario-ingrepen, is het algemene scenario-effect op het behoud van het meergeulenstelsel nog steeds positief. Een bijkomend gevolg van de nieuwe geïmplementeerde nevengeul is een afname van de bodemveranderingen in de hoofdgeul bij de Overloop van Valkenisse. Dit zorgt in het model voor een (fictieve) afname van het berekende baggerbezwaar bij de Overloop van Valkenisse ten opzichte van het referentiescenario.

Vanuit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de nieuw aangelegde geul en zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden relatief stabiel zijn en dat de eroderende trend van de Plaat van Walsoorden zwakker is dan bij het referentiescenario. De minimaal benodigde diepte in de nevengeul is na een jaar nog steeds gewaarborgd, waardoor onderhoud dus niet nodig is. De scenario-ingrepen zorgen verder voor een heractivering van de nevengeul doordat er zowel een toename is van het totale watervolume dat door de nevengeul stroomt alsook een lichte afname van het totale watervolume dat door de hoofdgeul stroomt. Een negatief neveneffect is een toename van de gemiddelde getijslag tot wel 2.7 [cm] ten gevolge van de in het algeheel ruimere geuldoorsnede (door de verschuiving van zand van diep naar ondiep worden de geulen -vooral tijdens eb- als dieper ervaren); dit is vanuit onder andere een waterveiligheidsoogpunt niet wenselijk.

6 Conclusies, discussie en aanbevelingen

Deze studie heeft tot de nodige inzichten geleid in de morfologie van het systeem rond macrocel 5 op mesoschaal, waaronder de rol die de hoofdgeul heeft in het sturen van de debietsverhouding tussen de hoofd- en nevengeul. Het dient echter opgemerkt te worden dat niet alle gepresenteerde observaties of bevindingen in deze studie noodzakelijk conclusies zijn die uit het onderzoek volgen, maar eerder hypotheses. Om hier een verduidelijking in aan te brengen zullen in deze sectie de bevindingen op basis van resultaten en expert judgement separaat worden opgelijst.

6.1 Conclusie doelstellingen per scenario

De iteratieve wijze van scenario-uitvoering in deze studie (eerst scenario 1 en 2, daarna scenario 3 en 4, en ten slotte scenario 5) heeft geleid tot een aantal bruikbare inzichten met betrekking tot de ontwikkeling van potentievolle morfologische beheersconcepten. Per scenario wordt geëvalueerd in welke mate met het scenario de vooropgestelde beoogde effecten zijn behaald en worden aanbevelingen gegeven voor eventuele aanpassingen. De beoogde effecten, die per scenario net verschillen, leiden per scenario tot dezelfde hoofddoelstellingen die in deze studie behoren tot een holistische beheeringreep:

- Een (her)activering van nevengeulen middels een debietstoename.
- Het behouden/ verbeteren van de bevaarbaarheid en het onderhoud van nevengeulen.
- Het behouden/ toenemen van ecologisch waardevol areaal.
- **6.1.1** Het behouden/ verbeteren van de waterveiligheid langsheen het estuarium (beperken van getijdoordringing & getijslag).

6.1.2 Scenario 1

• Toename van het vloeddebiet door nevengeul

Nee, het debiet door de nevengeul neemt door de aangebrachte ophogingen op beide flanken van de geul verder af.

• Keren van de sedimenterende trend Schaar van Waarde

Ja, de verdieping van de inloop heeft de sedimentatie doen afnemen.

• Oostwaartse migratie bevorderen van de gehele nevengeul richting de Plaat van Valkenisse

Deels, migratie van het centrale deel van de nevengeul treedt niet op. Anderzijds, de uitloop in de hoofdgeul migreert in oostelijke richting, waarbij aanzanding op de zuidoostpunt van de Plaat van Walsoorden optreedt en de flank van de Plaat van Valkenisse erodeert. Er treedt nog wel verdere uitbouw op van deze plaatpunt op dieper water dat voor verdere contractie in de hoofdgeul zorgt.

• Keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden.
Twijfelachtig, want alhoewel aan de zuidoostpunt van de plaat een sedimentatiezone ontstaat, zijn er aangrenzend ook erosiezones. Welke kant het opgaat op langere termijn is niet duidelijk.

Aanbeveling: Om de geul meer volume te geven kan overwogen worden om de storting op de oostflank van de geul, op de Plaat van Valkenisse achterwege te laten en een initiële verdieping van de geul ter hoogte van de aansluiting op de Overloop van Valkenisse te voorzien.

6.1.3 Scenario 2

• Toename van het ebdebiet door nevengeul

Nee, het debiet door de nevengeul neemt door de aangebrachte ophogingen op beide flanken van de geul verder af.

Er lijkt een minimaal dwarsoppervlak in de nevengeul benodigd te zijn (~4000 – 4500 $[m^2]$) om het debiet door de nevengeul toe te laten nemen. In dit scenario is het dwarsoppervlak beduidend lager, waardoor een sterke afname van het eb- en vloeddebiet door de nevengeul zichtbaar is.

Het verleggen van de monding van de nevengeul richting de Plaat van Valkenisse, waarbij de monding meer parallel ligt aan de hoofdgeul, zorgt voor minder druk op (wrijving in) de hoofdgeul. Ook dit heeft een vermoedelijke invloed op de verdeling van de eb- en vloeddebieten.

Migratie bevorderen van de nevengeul in een oostelijke richting

Nee, migratie van het centrale deel van de nevengeul treedt niet op.

• Keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden

Ja, de zuidoostelijke punt de Plaat van Walsoorden, waar voorheen een eroderende trend was, relatief stabiel is en zich zelfs licht uitbreidt in oostelijke richting.

Er wordt aanbevolen om in een volgend scenario de verlegde nevengeul initieel verder te verdiepen, zodat meer water wordt aangetrokken door de nevengeul en deze wordt gereactiveerd. Ook kan hierdoor het criterium voor het behoud van het meergeulenstelsel worden nagestreefd en de minimaal benodigde diepte van voor binnenvaart behouden blijven zonder onderhoud van de drempel.

6.1.4 Scenario 3

• Toename van het vloeddebiet door nevengeul

Ja, met relatief kleine ingrepen, waarbij meer sediment aan het systeem wordt onttrokken dan toegevoegd en het dwarsoppervlak wordt vergroot, is een toename van het (eb- en vloed)debiet door de nevengeul verkregen.

• Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door middel van het beperken van hoge langs- en dwarsstromingen

Ja, ondanks zeer lokale verondieping van de nevengeul, kan worden geconstateerd dat de minimaal benodigde diepte van -3.5 [m LAT] behouden blijft.

Mede door aangepaste oriëntatie van de aansluiting van de nevengeul op de hoofdgeul, worden langs het beoogde tracé lagere dwarssnelheden tijdens maximale eb en vloed verkregen dan bij het referentiescenario.



• Keren van de sedimenterende trend Schaar van Waarde

Ja, enkel zeer lokaal treedt verondieping op. Natuurlijke verdieping van het nevengeultracé blijft echter uit.

• Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend van de zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden

Nee, de nieuw aangelegde zuidpunt van de Plaat van Walsoorden trekt zich westwaarts terug en de zuidpunt van de Plaat van Valkenisse bouwt zich verder uit.

Er wordt aanbevolen om in een volgend scenario het effect op de reductie getijslag te onderzoeken wanneer het toegevoegde en onttrokken sediment aan het systeem beter in balans wordt gebracht. Hier kan gedacht worden aan het extra suppleren van sediment aan de zuidelijke punt van de Plaat van Walsoorden.

6.1.5 Scenario 4

• Toename van het ebdebiet door nevengeul

Ja, de ingrepen zorgen voor een debietstoename door de nevengeul tijdens eb, niet tijdens vloed. De locatie van de ingrepen (i.e. op sublitoraal, litoraal of supralitoraal areaal) is van belang omdat eb- en vloedstroming de veranderingen in de hypsometrische curve anders ervaren.

Door het weghalen van een contractie in de hoofdgeul neemt tevens de wrijving van de stroming door de hoofdgeul af. Hierdoor neemt ook de getij-amplitude toe (2.5 [cm]).

• Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door het beperken van de dwarsstromingen in de nevengeul

Ja, de nieuw aangelegde geul is relatief stabiel. Bij het stroomopwaartse einde van de nevengeul zal onderhoud vereist zijn om de minimaal benodigde diepte te kunnen garanderen. Ondanks een grotere stroomsnelheid in de nevengeul, waaiert de stroming teveel uit om de nevengeul bij de uitloop in de hoofdgeul op een natuurlijke wijze te onderhouden.

Door de aangepaste aansluiting met de hoofdgeul blijft de maximale dwarsstroming die langs het beoogde tracé in de nevengeul wordt bereikt ruim onder de gestelde grenswaarde.

• Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend plaat van Walsoorden

Ja, vanuit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden relatief stabiel is. Wel bocht de nevengeul uit tegen de nieuwe zuidoostpunt van de Plaat van Walsoorden, welke steiler wordt door erosie aan de onderkant van de helling en sedimentatie boven op de smalle plaat.

Aanbevolen wordt op basis van scenario 4 om, net als bij scenario 3, de Schaar van Waarde te verdiepen, alsook de contractie in het centrale deel weg te nemen. Deze contractie is gelinkt aan de aansluiting met de geul van Zimmerman die historisch steeds zuidelijker gemigreerd is. Er kan onderzocht worden hoe een betere aansluiting met de Zimmerman kan worden verkregen. Hierdoor kan mogelijk, naast een toename van het ebdebiet, ook het vloeddebiet toenemen in beide geulen, door het extra stuwen van water door de nevengeul.

6.1.6 Scenario 5

• Toename van zowel het eb- als vloeddebiet door nevengeul

Deels, tijdens eb neemt het totale volume af in de hoofdgeul en toe in de nevengeul. Echter, tijdens vloed is er nagenoeg geen verandering ten opzichte van de referentie. De locatie van de ingrepen (i.e. op sublitoraal, litoraal of supralitoraal areaal) is van belang omdat eb- en vloedstroming de veranderingen in de hypsometrische curve anders ervaren.

Een negatief neveneffect is een toename van de gemiddelde getijslag tot wel 2.7 [cm] ten gevolge van de in het algeheel ruimere geuldoorsnede (door de verschuiving van zand van diep naar ondiep worden de geulen -vooral tijdens ebals dieper ervaren).

• Verminderde sedimentatie in de nevengeul en verbeterde navigatiecondities door het beperken van de dwarsstromingen in de nevengeul

Ja, De minimaal benodigde diepte in de nevengeul is na een jaar nog steeds gewaarborgd, waardoor onderhoud dus niet nodig is.

Door de aangepaste aansluiting met de hoofdgeul blijft de maximale dwarsstroming die langs het beoogde tracé in de nevengeul wordt bereikt ruim onder de gestelde grenswaarde.

• Het afremmen en mogelijk keren van de eroderende trend Plaat van Walsoorden

Deels, de zuidoostelijke punt van de Plaat van Walsoorden is relatief stabiel en de eroderende trend van de Plaat van Walsoorden is zwakker dan bij het referentiescenario.

6.2 Bevindingen op basis van resultaten

- Het bewaken van de sedimentbalans van de scenario-ingrepen (i.e. baggervolumes ≈ stortvolumes) is nodig om een afwaartse af- of toename van het getijvolume te voorkomen. Voor toekomstige beheerstrategieën is het dus aanbevolen om hier rekening mee te houden, zoals ook in het meest recente beheer gebruikelijk was. (Vergelijk scenario 1 en 2 (positieve sedimentbalans), met scenario 3 (negatieve sedimentbalans) en scenario 4 en 5 (sedimentbalans in evenwicht).
- Het veranderen van de configuratie van de uitloop van de Schaar van Valkenisse in de hoofdgeul, waarbij de contractie door de zuidwestelijke punt van de Plaat van Valkenisse wordt weggenomen, leidt tot een afname van de weerstand op de stroming in de hoofdgeul, waardoor de getijslag toeneemt voornamelijk afwaarts van de ingreep (scenario 2, 3, 4 en 5). Deze contractie lijkt vooral samen te gaan met de rotatie (in westelijke richting) van de uitloop van de nevengeul in de hoofdgeul en de daaraan gekoppelde evolutie van de Plaat van Valkenisse.
- Ten aanzien van de invloed van de heroriëntatie van de uitloop van de Schaar van Valkenisse op de getijslag wordt opgemerkt dat andere, gekoppelde veranderingen in het systeem, het effect op de getijslag dat uit de simulaties blijkt, gemitigeerd zullen hebben. De uitbouw van de Plaat van Valkenisse in zuidwestelijke richting zal in realiteit tot gevolg hebben gehad dat er uitschuring van de bodem, migratie van de hoofdgeul in zuidelijke richting en mogelijk enige demping van het getij is opgetreden. Het is evenwel onwaarschijnlijk dat dit meetbaar is.

- Een beperkte veruiming van de toegang tot de Schaar van Waarde alleen als scenario-ingreep geeft geen garantie voor een toename van de vloedstroom langs de nevengeul (vergelijk scenario 1 en 3 met 2 en 4). De vloeddominantie blijkt in het algemeen persistent.
- Het verdiepen van de geulen en het storten op intertidaal areaal, of erboven, heeft tot gevolg dat de eb- en vloeddebieten elk anders worden beïnvloed (scenario 4 en 5).
- Lokale contractie door middel van het plaatsen van sediment aan beide zijden van de nevengeul zorgt voor het langzaam afknijpen ervan en niet voor (her)activering als gevolg van een toename in stroomsnelheden (scenario 1 en 2). Ook kan een haakse aansluiting van de uitloop van de nevengeul op de hoofdgeul ervoor zorgen dat de doorstroming wordt verhinderd met een afname van debiet door nevengeul tot gevolg (scenario 1)..
- Alle voorgestelde scenario's in deze studie tonen een toename van laag-dynamisch areaal wat voor een toename zorgt in waardevol ecologisch areaal in het projectgebied. Het aanbrengen van zand op tidaal areaal heeft dus een positief effect op de lokale ecologie. De duur van dit positieve effect hangt af van de stabiliteit van het gestorte sediment.
- Met de huidige scenario-ingrepen in de nevengeul wordt geen indirecte (her)activering van de geul van Zimmerman geïnduceerd. Om dit laatste te bereiken zijn andere (directe) ingrepen nodig in de geul van Zimmerman.

6.3 Bevindingen op basis van expert judgement

De opwaartse toename van hoogwaterstanden die zichtbaar is in scenario's 4 en 5 lijkt voornamelijk veroorzaakt te worden door het wegnemen van de zuidelijke punt van de Plaat van Valkenisse. De sedimentbalans is in deze twee scenario's neutraal. Door het wegnemen van de plaatpunt neemt lokale contractie (en dus wrijving) in de hoofdgeul af, waardoor de getij-indringing minder wordt geremd met bijgevolg dat de waterstand toeneemt. Opvallend is hierbij de invloed die de ontwikkeling van de nevengeul heeft op de doorstroming van de hoofdgeul: sedimentafzettingen waar de nevengeul zich samenvoegt met de hoofdgeul, en de haakse aansluiting van de nevengeul die er voor zorgt dat de stroming in de hoofdgeul door de stroming uit de nevengeul wordt gestremd.

Daarbij moet ook opgemerkt worden dat ook de zuidzijde van de hoofdgeul over de afgelopen jaren geleidelijk is verschoven, en dat een afname in de getijslag tegenwerkt wanneer de contractie in de hoofdgeul zou worden weggenomen. Dit zou mogelijk tegengegaan kunnen worden door strekdammen langs de zuidzijde van de hoofdgeul (mocht dit wenselijk zijn, naast de al bestaande strekdam bij het Konijnenschor ter hoogte van het Verdronken Land van Saeftinghe) of andere getijremmende maatregelen.

 De grootschalige verandering ten gevolge van de gesimuleerde ingrepen (toename in debiet en getijslag) lijkt voornamelijk gestuurd door de invloed van de scenarioingrepen in de nevengeul op de stroming in de hoofdgeul. Het blijkt dat bepaalde ingrepen die een gunstig effect hebben op de doorstroming van de nevengeul ook de doorstroming in de hoofdgeul gunstig beïnvloeden. Hieruit kan tevens worden afgeleid dat een verruiming van de nevengeul wellicht beter kan plaatsvinden in combinatie met een afname van het hoofdgeulvolume.

Een voorstel zou kunnen zijn om de zandstortingen uit de scenario's te verschuiven van bovenop de platen langs de nevengeul naar diepe locaties in de hoofdgeul om meer wrijving te creëren en de getijslag te dempen. Op deze manier wordt zowel de sedimentbalans bewaart alsook de getijslag beperkt. Verder wordt een eventuele invloed op de versteiling of ophoging van de platen vermeden. Verder zou onderzocht kunnen worden of deze denkwijze toegepast zou kunnen worden op de zandstortingen uit het huidige onderhoudsbaggerwerk die momenteel op de flank van de plaat plaatsvinden. Dat de zandsuppleties in diepere delen van de hoofdgeul sneller eroderen, waardoor maar voor een korte periode invloed wordt uitgeoefend op het systeem, kan worden vermeden door deze suppleties frequent uit te laten voeren als integraal onderdeel van stortingen uit het onderhoudsbaggerwerk.

Een dergelijke ingreep zou ook een positieve bijdrage kunnen leveren aan het herstel van de kantelindex en daarmee aan het behoud van het meergeulenstelsel. De kantelindex wordt berekend als de verhouding tussen de (gemiddelde) diepte van de eb- en vloedgeul. De diepte wordt hierbij berekend als het watervolume gedeeld door het natte oppervlak (e.g. Schrijver, 2019). Onderstand figuur laat zien dat het nevengeulvolume de voorbije jaren aanzienlijk is afgenomen. De kantelindex is de laatste jaren eerder stabiel, maar ook lager dan historisch het geval was. Een kantelindex dichter bij 1.0 [-] zou dan een resultaat kunnen zijn. Echter, om duidelijke conclusies te kunnen verbinden aan de evolutie van de kantelindex, moet er wellicht nadrukkelijker gekeken worden naar de wijzigingen in de hypsometrie en niet enkel naar wijzigingen in gemiddelde diepte.







Figuur 6-2 : Kantelindex [-] voor macrocel 5, berekend als de verhouding tussen de (gemiddelde) diepte van de eb- en vloedgeul (watervolume gedeeld door het natte oppervlak).



- Het verdiepen van de geulen en het storten op intertidaal areaal, of erboven, zorgt voor een verschuiving binnen de hypsometrische curve (van diep naar ondiep) in het projectgebied. Dit heeft tot gevolg dat de eb- en vloeddebieten elk anders worden beïnvloed. De geulen worden vooral tijdens eb als dieper ervaren, waardoor de stroming minder wrijving ondervind en de doorstroming wordt vergemakkelijkt, terwijl tijdens vloed de storting op intertidaal areaal sterker worden gevoeld, voor meer wrijving zorgt en dus de doorstroming belemmerd. Op deze manier leidt versteiling / verhoging van platen (in combinatie met verruiming geulen) tot een positieve feedback loop. Er wordt geadviseerd om in een vervolg onderzoek het relatieve belang van de hypsometrie in functie van de veranderingen in wrijving verder te onderzoeken.
- Een beperkte verruiming van de toegang tot de Schaar van Waarde alleen bleek geen (significant) effect te hebben op de stroming door de nevengeul. Niet onderzocht is de mogelijkheid om door middel van een verandering van de instroomrichting bij de afwaartse inloop van de Schaar van Waarde de doorstroming door de vloedgeul te verbeteren. Een hypothese is dat het verbeteren van de aansluiting met de Put van Hansweert mogelijk gunstig kan zijn voor de vloedstroming door de nevengeul. Voor een vervolgstudie zou deze ingreep interessant zijn om te onderzoeken (bijvoorbeeld door het aanpassen van harde begrenzingen nabij Hansweert).
- Historisch gezien vertoont het autonoom morfologisch gedrag van het nevengeulen en -platencomplex een cyclisch patroon. Zo lijkt de positie van de uitloop van de nevengeul in 1990-1992 sterk op de situatie van vandaag. Een belangrijk verschil valt waar te nemen in het belang van de Geul van Zimmerman, welke vandaag sterk is afgenomen. Opvallend hierbij is dat sinds de aanleg van de strekdammen ter hoogte van het slik en schor van Waarde (die in 2004 zijn aangelegd om de erosie van het slik en schor te stoppen) de kromming van de Zimmermangeul geleidelijk is toegenomen en deze hierdoor nu aan afwaartse zijde uitmond in het centrale deel van de nevengeul. Dit veroorzaakt sedimentafzetting in de nevengeul die een lokale contractie tot gevolg heeft. Ook lijkt de nevengeul hierdoor in westelijke richting, richting de Plaat van Walsoorden geduwd te worden. Er treden echter ook autonome veranderingen van de nevengeul op. Het lijkt aanbevelingswaardig om te evalueren wat de invloed is geweest van de strekdammen op de ontwikkeling van de Geul Zimmerman en of de aanleg hiervan een onbedoeld neveneffect heeft gehad op het (cyclisch) gedrag van de nevengeul op mesoschaal.



1992:





7 Referenties

Bosboom J., Reniers A.J.H.M. & Luijendijk A.P. (2014). On the perception of morphodynamic model skill. *Coast. Eng.*, <u>94</u>, 112–125, doi: 10.1016/j.coastaleng.2014.08.008.

IMDC (2009). Dwarsstromingen Ossenisse Zuidergat Rapport numeriek modelonderzoek. I/RA/11313/09.009/BDC.

IMDC (2019a). Immerse: Results of the hydrodynamic analysis of the reference run and the proposed scenarios.

IMDC (2019b). Advies THV COTU aanleg Oosterweeltunnel - Sedimentatiestudie. I/RA/18080/19.145/TWO/TWO.

IMDC (2019c). Vaarwegbeheer 2016-2021 Bestelopdracht 6: Flexibel Storten 2018-2019 Maandrapport februari 2019 v2.0. I/RA/11498/19.035/EKR/.

IMDC (2020). Voortgangsrapportage 2018-2019: Data- en analyserapport. I/RA/11498/20.096/MMO/.

IMDC (2021a). Onderzoek Flexibel Storten Morphodynamic modelling of disposed sands at DPH. I/RA/11513/21116/TWO.

IMDC (2021b). Vaarwegbeheer 2016-2021 Bestelopdracht 14: Flexibel Storten Periode3 - 2020-2021 - Maandrapport december-januari. I/RA/11498/21.004/CPA/.

INBO (2016). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2015 -Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten.

McLaren (1994). sediment transport in the westerschelde between baarland and rupelmonde.

Peters R. (1995). Geologie Westerschelde,.

PIANC (2016). Guidelines for Marina Design_Part I report 149.

Schrijver M. (2019). Monitoring meergeulensysteem Westerschelde. Toetsing criteria nevengeulen. Rijkswaterstaat Zeeland, 7210A/MMGW-2019–01.

S.H.L.L. Gruijters, Schokker J. & Veldkamp J.G. (2004). Kartering Moeilijk Erodeerbare Lagen in Het Schelde Estuarium, Rapport nr 03-213-B1208.

Sutherland J., Peet A. & Soulsby R. (2004). Evaluating the performance of morphological models. *Coast. Eng.*, <u>51</u>, 917–939.

Van der Vegt H., Mastbergen D. & Van der Werf J. (2019). Moeilijk-erodeerbare lagen in de Westerschelde. Onzekerheden en gevolgen voor morfodynamiek.

Vanlede J., Chu K., Smolders S., Decrop B. & Mostaert F. (2020). Update SCALDIS 2019: a 3D hydrodynamic model of the Scheldt Estuary: Calibration report. Version 3.0.

Verheyen B. (2018). sMER ECA – Impact getijveranderingen veroorzaakt door de bouwstenen en alternatieven op de slik- en schorarealen in de Schelde.



Bijlage A Brier skill score

De Brier skill score (afgekort BSS) is een kostfunctie die de nauwkeurigheid van morfodynamische simulaties kan bepalen (Sutherland *et al.*, 2004; Bosboom *et al.*, 2014). Hierbij wordt gebruik gemaakt van gemiddelde kwadratische afwijkingen tussen gesimuleerde en geobserveerde bodemveranderingen. De BSS is gedefinieerd in de onderstaande vergelijking:

$$BSS = 1 - \frac{\text{MSE}}{\text{MSE}_r}$$

Hier, staat MSE voor de gemiddelde kwadratische afwijking tussen gesimuleerde (p_i) en geobserveerde bodemveranderingen (o_i) en is gedefinieerd als:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i}^{n} w_i \ (p_i - o_i)^2$$

Hierbij wordt een wegingsfactor w_i toegepast om rekening te houden met verschillen in roosterresolutie van ieder punt n.

Verder staat MSE_r voor het gewogen gemiddelde van de geobserveerde bodemveranderingen in het kwadraat:

$$MSE_r = \frac{1}{n} \sum_{i}^{n} w_i \ (o_i)^2$$

Tabel 7-1 toont de modelclassificaties van de Brier skill score (BSS).

Tabel 7-1 Overzicht met classificaties van de Brier skill score (BSS). Overgenomen uit Sutherland et al. (2004).

Classification	Brier skill score (BSS)
Excellent	1.0 – 0.5
Good	0.5 – 0.2
Reasonable/fair	0.2 – 0.1
Poor	0.1 – 0.0
Bad	< 0.0



Bijlage B Extra figuren validatie



Figuur Bijlage B-1 Geobserveerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie.



Figuur Bijlage B-2 Gesimuleerde bodemveranderingen [m] tussen 2019 en 2020. Grijze contourlijnen tonen 2.5 [m] intervallen van 2019 bathymetrie. Groene omlijningen geven de zes berekeningspolygonen weer.

Eindrapportage - 157



Bijlage C Kaarten Geologie Westerschelde

Bron: R.Peters (1995), Geologie Westerschelde, Rijks Geologische Dienst – District Zuid Formatie van Boxtel = Formatie van Twente (voormalige benaming).







Eindrapportage - 159



Bijlage D Tijdseries waterstanden

D.1 Scenario 1



Figuur_Bijlage D-1 : Tijdseries van de waterstand bij Walsoorden (locatie: hoofdgeul meetstation) onder gemiddelde getijcondities voor scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur_Bijlage D-2 : Tijdseries van de waterstand bij Bath onder gemiddelde getijcondities voor scenario 1 en het referentiescenario.

D.2 Scenario 2



Figuur_Bijlage D-3 : Tijdseries van de waterstand bij Walsoorden (locatie: hoofdgeul meetstation) onder gemiddelde getijcondities voor scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur_Bijlage D-4 : Tijdseries van de waterstand bij Bath onder gemiddelde getijcondities voor scenario 2 en het referentiescenario.

D.3 Scenario 3



Figuur_Bijlage D-5 : Tijdseries van de waterstand bij Walsoorden (locatie: hoofdgeul meetstation) onder gemiddelde getijcondities voor scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur_Bijlage D-6 : Tijdseries van de waterstand bij Bath onder gemiddelde getijcondities voor scenario 3 en het referentiescenario.





Figuur_Bijlage D-7 : Tijdseries van de waterstand bij Walsoorden (locatie: hoofdgeul meetstation) onder gemiddelde getijcondities voor scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur_Bijlage D-8 : Tijdseries van de waterstand bij Bath onder gemiddelde getijcondities voor scenario 4 en het referentiescenario.

D.5 Scenario 5



Figuur_Bijlage D-9 : Tijdseries van de waterstand bij Walsoorden (locatie: hoofdgeul meetstation) onder gemiddelde getijcondities voor scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur_Bijlage D-10 : Tijdseries van de waterstand bij Bath onder gemiddelde getijcondities voor scenario 5 en het referentiescenario.



Bijlage E Tijdseries debiet [m³/s] door raaien

E.1 Scenario 1



Figuur_Bijlage E-1 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a _1 van het referentiescenario (base) en scenario 1 (Walsoorden).



























Figuur_Bijlage E-8 : Tijdserie van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak1 van het referentiescenario (base) en scenario 1 (Walsoorden).



Figuur_Bijlage E-9 : Tijdserie van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak2 van het referentiescenario (base) en scenario 1 (Walsoorden).

E.2 Scenario 2



Figuur_Bijlage E-10 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a_1 van het referentiescenario (base) en scenario 2 (Valkenisse).







Figuur_Bijlage E-12 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals1 van het referentiescenario (base) en scenario 2 (Valkenisse).







Figuur_Bijlage E-14 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals3 van het referentiescenario (base) en scenario 2 (Valkenisse).







Figuur_Bijlage E-16 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Bath2 van het referentiescenario (base) en scenario 2 (Valkenisse).









E.3 Scenario 3



Figuur_Bijlage E-19 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a _1 van het referentiescenario (base) en scenario 3.



Figuur_Bijlage E-20 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a _2 van het referentiescenario (base) en scenario 3.



Figuur_Bijlage E-21 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals1 van het referentiescenario (base) en scenario 3.







Figuur_Bijlage E-23 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals3 van het referentiescenario (base) en scenario 3.










Figuur_Bijlage E-26 : Tijdserie van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak1 van het referentiescenario (base) en scenario 3.



Figuur_Bijlage E-27 : Tijdserie van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak2 van het referentiescenario (base) en scenario 3 .





Figuur_Bijlage E-28: Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a_1 van het referentiescenario (base) en scenario 4.



Figuur Bijlage E-29 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a_2 van het referentiescenario (base) en scenario 4.



Figuur Bijlage E-30 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals1 van het referentiescenario (base) en scenario 4.



Figuur Bijlage E-31: Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals2 van het referentiescenario (base) en scenario 4.



referentiescenario (base) en scenario 4.











Figuur Bijlage E-35 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak1 van het referentiescenario (base) en scenario 4.





E.5 Scenario 5



Figuur Bijlage E-37 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a_1 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-38 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Raai5a_2 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-39 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals1 van het referentiescenario (base) en scenario 5.







Figuur Bijlage E-41: Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Wals3 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-42 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Bath1 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-43 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Bath2 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-44 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak1 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Figuur Bijlage E-45 : Tijdseries van debiet [m³/s] bij gedefinieerde raai Appelzak2 van het referentiescenario (base) en scenario 5.



Bijlage F Langs- en dwarssnelheden langs tracé hoofd- en nevengeul

F.1 Scenario 1



Figuur Bijlage F-1: Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-2 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-3 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-4 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-5 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 1 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-6 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 1 en het referentiescenario.















Figuur Bijlage F-9 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-10 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-11 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-12 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-13 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-14 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-15 : Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 2 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-16 : Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 2 en het referentiescenario.

F.3 Scenario 3



Figuur Bijlage F-17 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-18: Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-19 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-20 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 3 en het referentiescenario.







Figuur Bijlage F-22 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario.









Figuur Bijlage F-24 :Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 3 en het referentiescenario.





Figuur Bijlage F-25 :Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-26 :Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-27 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-28 :Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 4 en het referentiescenario.







Figuur Bijlage F-30 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 4 en het referentiescenario.











F.5 Scenario 5



Figuur Bijlage F-33 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-34 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale langssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-35 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens eb voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-36 : Linker y-as: Maximale dieptegemiddelde dwarssnelheid [m/s] op de talweg van de hoofdgeul met kilometerpositie t.o.v. de Overloop van Hansweert tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario. Rechter y-as: Verschil in maximale dwarssnelheid [m/s] tussen scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-37 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens eb voor scenario 5 en het referentiescenario.



Figuur Bijlage F-38 : Maximale dieptegemiddelde langssnelheid [m/s] op de talweg van de nevengeul met kilometerpositie t.o.v. de Schaar van Waarde tijdens vloed voor scenario 5 en het referentiescenario.









