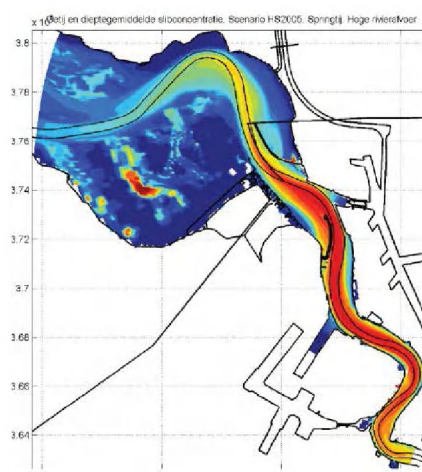


Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid

Effect morfologie monding Westerschelde op getij

Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-12

01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

Telefoon: + 32 3 270 92 95

Fax: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

Telefoon: + 31 (0)88 335 8273

Fax: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

Telefoon: +31 10 467 13 61

Fax: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Amhem, Nederland

Telefoon: +31 (0)26 377 89 11

Fax: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Effect morfologie monding Westerschelde op getij
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.301/GVH
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\G-12 - Effect morfologie monding Westerschelde op getij_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	28/11/2012	Finaal	S. Poortman	G. Dam	
1.1	31/03/2013	Klaar voor revisie	S. Poortman	G. Dam	
2.0	01/10/2013	Finaal	S. Poortman	G. Dam	

Verdeellijst

1	Analoog	Youri Meersschaut
1	Digitaal	Youri Meersschaut

Effect van de morfologie van de monding van de Westerschelde op het getij

ten behoeve van Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid

Definitief

SWAS

HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

Schiehaven 13G

3024 EC Rotterdam

Nederland

T +31 - 10 - 467 13 61

F +31 - 10 - 467 45 59

E info@svasek.com

I www.svasek.com

Document titel Effect van de morfologie van de monding van de Westerschelde op het getij

ten behoeve van Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid

Verkorte Titel Monding scenario's

Status Definitief

Datum 17 juli 2013

Project naam Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid

Project nummer 1630

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Waterdienst, Vlaamse Overheid, Afdeling Maritieme Toegang

Referentie 1630/U12353/F/SPo

Auteur Sanne Poortman

Gecontroleerd door Gerard Dam

SAMENVATTING

De afgelopen decennia is de getijslag in het Schelde-estuarium toegenomen. Omdat dit niet wenselijk is vanwege toegankelijkheid, veiligheid en natuurlijkheid van het estuarium, wordt gekeken naar rol van de monding in de amplificatie van de getijslag. Het inzicht hierin is verkregen door modelmatig te onderzoeken wat de gevolgen zijn van een aantal extreme vormen van mitigerende maatregelen. Er zijn een aantal verkennende scenario's onderzocht met behulp van het stromingsmodel FINEL2D, waarbij gekeken is naar de invloed van verschillende eenheden in de monding op het getij. Deze morfologische eenheden zijn: de Wielingen, de Vlake van de Raan en het Oostgat.

De werking van het getij in de monding kan als volgt omschreven worden: de geul de Wielingen die nu als vaargeul gebruikt wordt is vooral belangrijk voor de instroming. Een verdieping van deze geul geeft een hogere getijslag in de Westerschelde en omgekeerd geeft een verondieping een verlaging van de getijslag. Het Oostgat werkt andersom. Deze geul is voornamelijk belangrijk bij de uitstroming van het getij. Een verdieping van deze geul resulteert in een verlaging van het getij. De Vlake van de Raan werkt hetzelfde als het Oostgat. Een verlaging van de Vlake van de Raan zorgt voor een verlaging van het getij.

De uitgevoerde berekeningen laten zien dat de omvang van morfologische veranderingen in Wielingen en/of de Vlake van de Raan en/of het Oostgat zeer fors moeten zijn om een relevant effect op de getijslag te hebben. In alle doorgerekende scenario's dienen grote tot zeer grote hoeveelheden sediment verplaatst te worden.

INHOUDSOPGAVE

	Pag.	
1	INTRODUCTIE	1
2	MODELINSTELLINGEN EN SCENARIO'S	2
3	RESULTATEN SCENARIO T1	5
4	RESULTATEN SCENARIO T2	14
5	RESULTATEN SCENARIO T3	23
6	RESULTATEN SCENARIO T4	32
7	RESULTATEN SCENARIO T5	39
8	RESULTATEN SCENARIO T6	45
9	RESULTATEN SCENARIO T7	52
10	RESULTATEN SCENARIO T8	60
11	CONCLUSIE	73
	REFERENTIES	76

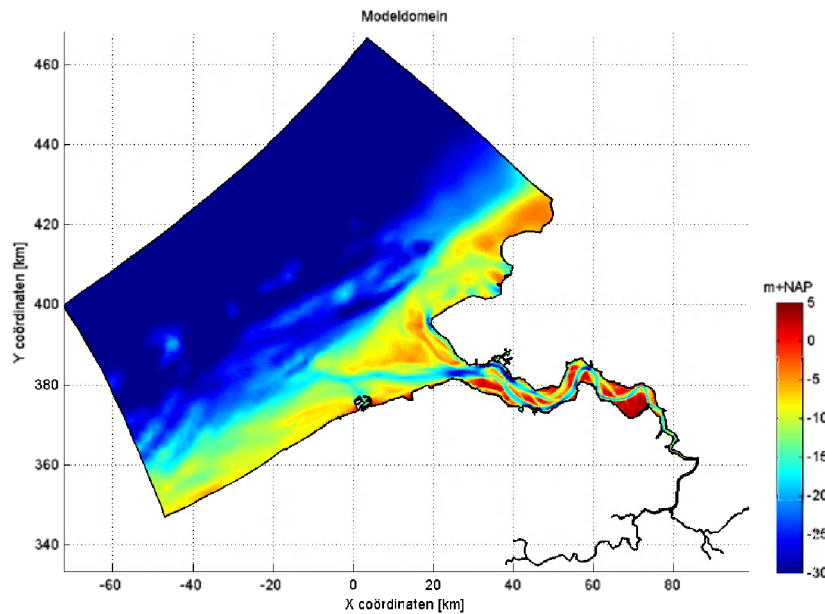
1 INTRODUCTIE

De afgelopen decennia is de getijslag in het Schelde estuarium toegenomen. Omdat dit effect kan hebben op veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid van het estuarium, wordt in dit rapport gekeken naar welke rol de monding eventueel kan spelen voor mitigerende maatregelen. Hiertoe zijn verkennende berekeningen met behulp van het stromingsmodel FINEL2D uitgevoerd, waarbij gekeken is naar de invloed van verschillende eenheden in de monding op het getij. Deze morfologische eenheden zijn: de Wielingen, de Vlakte van de Raan en het Oostgat.

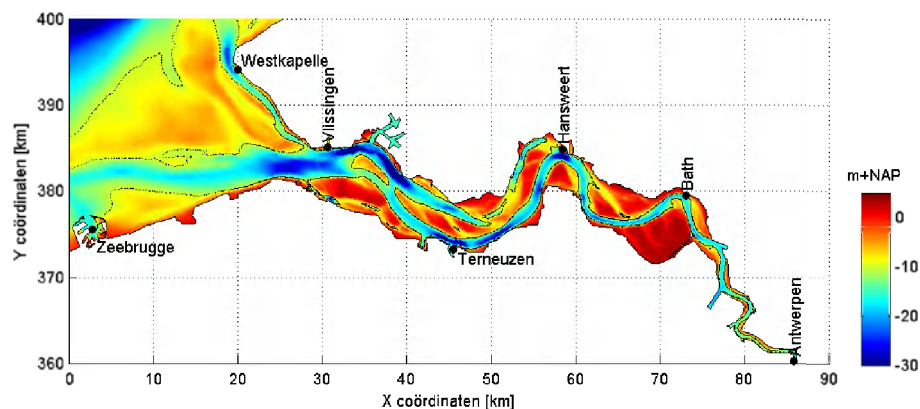
Deze rapportage bespreekt de opzet en de uitkomsten van deze berekeningen. De morfologische ontwikkeling zelf wordt buiten beschouwing gelaten. De scenario's die in deze rapportage besproken worden zijn voornamelijk uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in hoe de monding bijdraagt aan de voortplanting van het getij in de Westerschelde en stellen niet direct alternatieven voor die in de praktijk uitgevoerd zullen worden.

2 MODELINSTELLINGEN EN SCENARIO'S

Om het effect van de morfologische eenheden in de monding van de Westerschelde op de getijslag te onderzoeken, is de hydrodynamica in de Westerschelde voor een aantal scenario's gesimuleerd. Voor de simulaties is gebruik gemaakt van het bestaande FINEL2D Westerschelde model, zie Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). Het modeldomein en de modelbodem zijn weergegeven in Figuur 2.1. De rand van het model ligt vrij ver bij de monding van de Westerschelde vandaan, waardoor de randvoorwaarden niet door de ingreep worden beïnvloed. De belangrijkste getijdestations in de Westerschelde zijn weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.1: Modelbodem en modeldomein van het FINEL2D Westerschelde model.



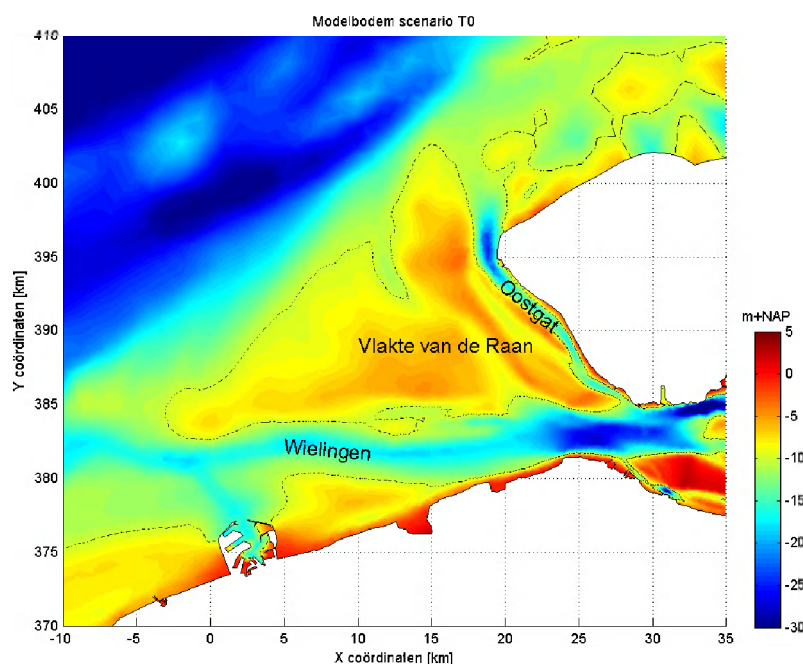
Figuur 2.2: Belangrijkste getijdestations in de Westerschelde.

De basismodelbodem die in deze studie is toegepast bestaat voor het grootste deel uit een 20x20 m² GIS bodem van de Westerschelde uit 2011 (Rijkswaterstaat Zeeland), aangevuld met een bathymetrie van de Zeeschelde uit 2010. De modelbodem in de monding van de Westerschelde is weergegeven in Figuur 2.3 met de belangrijkste morfologische componenten: Wielingen, Oostgat en Vlakte van de Raan. De Wielingen is de hoofdvaargeul. Het Oostgat is een geul dicht langs de kust van Walcheren, en de Vlakte van de Raan is een ondiepte gelegen tussen beide geulen. In de figuur is de NAP -10 m contourlijn opgenomen.

Er zijn 21 scenario's doorgerekend, zie Tabel 2.1. In het eerste scenario, T0, is de huidige situatie doorgerekend, en wordt de hierboven beschreven basis modelbodem toegepast. Dit scenario dient als referentie voor de uitkomsten van de overige scenario's. Voor elk scenario worden vanaf 1 januari 2011 vijf springtij-doodtij cycli doorgerekend.

In een eerste set van negen scenario's wordt steeds een aanpassing aan de modelbodem gemaakt in het Oostgat, de Vlakte van de Raan of de Wielingen. Voor elk van deze gebieden afzonderlijk wordt de diepte met 1 m (scenario T2a), 3 m (scenario T2b) en 10 m (scenario T2c) verminderd ter plaatse van de Vlakte van de Raan of met 1 m, 3 m en 10 m vergroot (Oostgat (T1a..T1c) en Wielingen (T3a..T3c)).

In het volgende scenario (T4) wordt de bodem van het Oostgat gedefinieerd op NAP, en in een ander scenario (T5) worden de diepe delen van de Wielingen worden verhoogd NAP -17 m, wat gelijk is aan de onderhoudsdiepte van de vaargeul. Daarnaast zijn er twee scenario's waarbij de Wielingen door een ondiepte wordt geblokkeerd. De hoogte van de ondiepte is dan respectievelijk NAP -10 m (T6a) en NAP -5 m (T6b).



Figuur 2.3: Modelbodem (van de monding) van de Westerschelde in 2011. De NAP -10 m contour is in de figuur weergegeven.

In de laatste 7 scenario's (T7a-b, T8a-e) worden ingrepen in de gehele monding van de Westerschelde gedaan om verder inzicht in de werking van het getij te krijgen. Hierbij worden steeds

slechts twee dieptes toegepast: NAP -18 m en NAP -2 m. In het eerste scenario (T7a) wordt de gehele monding tot NAP -18 m verdiept. In de volgende worden de Vlake van de Raan en het Oostgat op NAP -18 m gedefinieerd, en de Wielingen op NAP -2 m.

In drie volgende scenario's wordt de gehele monding gedefinieerd op NAP -2 m, op een vaargeul van 500 m breed na, die door respectievelijk het Oostgat (T8a), de Vlake van de Raan (T8b) en de Wielingen (T8c) loopt. Daarnaast is er een scenario met twee smalle vaargeulen, gelokaliseerd in het Oostgat en de Wielingen (T8d), en een scenario met een geul van 2000 m breed door de Vlake van de Raan (T8e).

De aanpassingen ten opzichte van de basisbodem zijn voor elk scenario weergegeven in Tabel 2.1. De modelbodem voor de verschillende scenario's wordt steeds bij de behandeling van de specifieke scenario's getoond.

Tabel 2.1: Scenario definitie: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's. 'Smal' betreft een vaargeul van 500 m breed. 'Breed' betreft een vaargeul van 2000 m breed.

Scenario	Gebied	Aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T1a	Oostgat	-1 m	-48 Mm ³
T1b	Oostgat	-3 m	-145 Mm ³
T1c	Oostgat	-10 m	-484 Mm ³
T2a	Vlake van de Raan	+1 m	277 Mm ³
T2b	Vlake van de Raan	+3 m	833 Mm ³
T2c	Vlake van de Raan	+10 m	2775 Mm ³
T3a	Wielingen	-1 m	-79 Mm ³
T3b	Wielingen	-3 m	-239 Mm ³
T3c	Wielingen	-10 m	-802 Mm ³
T4	Oostgat	Aanvullen tot NAP	648 Mm ³
T5	Wielingen	Aanvullen tot NAP -17m	51 Mm ³
T6a	Wielingen	Blokkade tot NAP -10m	31 Mm ³
T6b	Wielingen	Blokkade tot NAP -5m	116 Mm ³
T7a	Gehele monding	Verdiepen tot NAP -18m	-4881 Mm ³
T7b	Gehele monding	Monding NAP -18m, Wielingen NAP -2m	-1932 Mm ³
T8a	Oostgat	Monding NAP -2m, Oostgat 'smal' NAP -18m	1924 Mm ³
T8b	Vlake van de Raan	Monding NAP -2m, Vlake van de Raan 'smal' NAP -18m	1884 Mm ³
T8c	Wielingen	Monding NAP -2m, Wielingen 'smal' NAP -18m	1862 Mm ³
T8d	Oostgat en Wielingen	Monding NAP -2m, Wielingen en Oostgat 'smal' NAP -18m	1666 Mm ³
T8e	Vlake van de Raan	Monding NAP -2m, Wielingen 'breed' NAP -18m	1361 Mm ³

3 RESULTATEN SCENARIO T1

In scenario T1 is het Oostgat verdiept. In scenario T1a neemt de diepte met 1 m toe (Figuur 3.2), in scenario T1b met 3 m (Figuur 3.3) en in scenario T1c met 10 m (Figuur 3.4). Tabel 3.1 geeft een overzicht van de scenario's.

Tabel 3.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T1a	Oostgat	-1 m	-48 Mm ³
T1b	Oostgat	-3 m	-145 Mm ³
T1c	Oostgat	-10 m	-484 Mm ³

De gemiddelde getijslag is gedefinieerd als het gemiddelse verschil tussen de hoog- en laagwaterstanden gedurende de gesimuleerde periode van vijf springtij-doodtij cycli. De gemiddelde getijslag ter plaatse van de hoofdstations in de Westerschelde is weergegeven in Figuur 3.5. De locaties van de hoofdstations zijn weergegeven in Figuur 2.2. Het verschil in getijslag ten opzichte van scenario T0 is eveneens weergegeven. De verschillen tussen scenario T1a, T1b en T1c en scenario T0 zijn klein, maar voor alle drie de scenario's is een afname van de getijslag in het gehele estuarium zichtbaar. De grootste afname is zichtbaar in scenario T1c, waar de grootste ingreep op de morfologie in de monding plaatsvindt. De afname is het grootst ter plaatse van Westkapelle, dat zich in het Oostgat bevindt. De locatie van het waterstandstation komt overeen met de locatie van de ingreep, waardoor de waterstanden sterk beïnvloed worden. De kleinste afname is zichtbaar bij Zeebrugge, dat vlakbij de Wielingen ligt. Bij Vlissingen en verder oostwaarts is het verschil in getijslag voor alle locaties ongeveer gelijk, en bedraagt voor scenario T1a ongeveer 0,5 cm, voor scenario T1b ongeveer 1 cm en voor scenario T1c ongeveer 3,5 cm.

Het gemiddelde faseverschil in de getijvoortplanting in minuten ten opzichte van scenario T0 bij Vlissingen wordt gepresenteerd in Figuur 3.6, net als het verschil met scenario T0. In alle drie de scenario's heeft de verdieping van het Oostgat een versnelling van het getij tot gevolg. Deze versnelling komt tot stand in de monding. In de Westerschelde zelf blijft het verschil langs de stations vrijwel gelijk. De verschillen in de fase zijn klein, en bedragen minder dan een minuut bij scenario T1a, ongeveer een minuut bij scenario T1b en ongeveer 3 minuten bij scenario T1c.

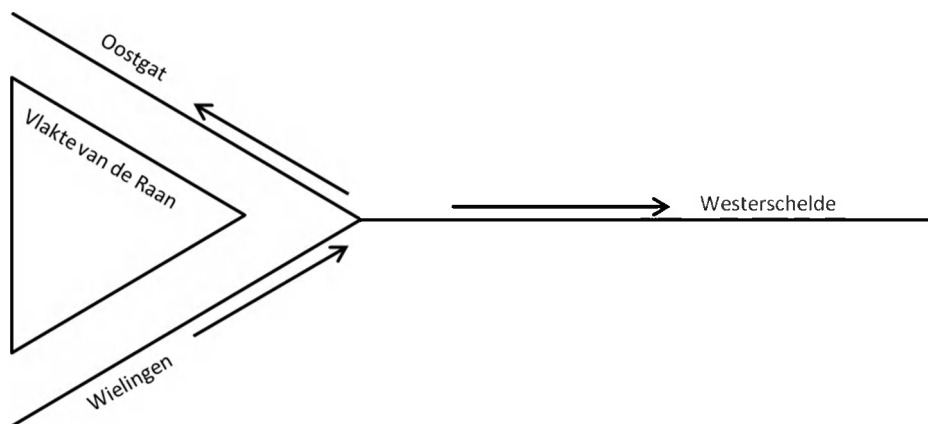
Figuur 3.7 en Figuur 3.8 tonen het debiet door verschillende doorsneden in de Westerschelde monding. De figuren tonen dat het debiet door het Oostgat voor zowel scenario T1a, T1b als T1c toeneemt, ten koste van het debiet door de Wielingen en de Vlake van de Raan. Daarbij geldt dat hoe groter de ingreep in het Oostgat is, hoe meer het debiet door het Oostgat toeneemt. Het Oostgat, wanneer de diepte wordt vergroot, krijgt als het ware een belangrijkere functie in relatie tot de functie van de andere twee morfologische eenheden. Het totale debiet door de monding lijkt iets af te nemen.

De herverdeling van het debiet door de monding van de Westerschelde heeft gevolgen voor de stroomsnelheden in de monding. Het verschil in stroomsnelheid van scenario T1a, T1b en T1c ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 3.9 en Figuur 3.10 en Figuur 3.11. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de stroming op hetzelfde tijdstip is vergeleken, en niet op hetzelfde fasemoment, waardoor de vergelijking niet exact is wanneer er faseverschillen optreden. Het faseverschil bedraagt echter slechts enkele minuten, waardoor de invloed van het verschil in fase beperkt is.

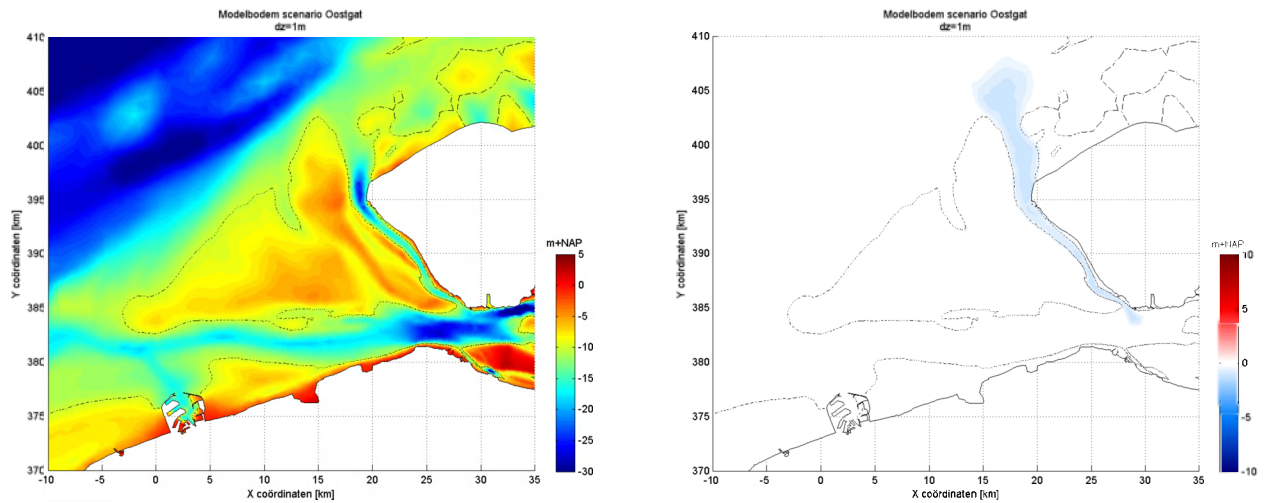
Figuur 3.9 laat nauwelijks verschil in stroomsnelheid tussen scenario T1a en scenario T0 zien. Tussen scenario T1b respectievelijk T1c en scenario T0 zijn de verschillen groter, zie Figuur 3.10 en Figuur

3.11. De stroomsnelheid in het Oostgat, waar zowel het doorstroomoppervlak als het debiet zijn toegenomen, neemt toe. Ter plaatse van Westkapelle is een tijdserie van de stroomsnelheid weggeschreven, waar eveneens een toename van de stroomsnelheid zichtbaar is (niet getoond). De stroomsnelheid ter plaatse van de Wielingen en de Vlake van de Raan neemt af, wat overeenkomt met de afname van het debiet. De effecten op de stroomsnelheid worden groter naarmate de ingreep in de monding groter is.

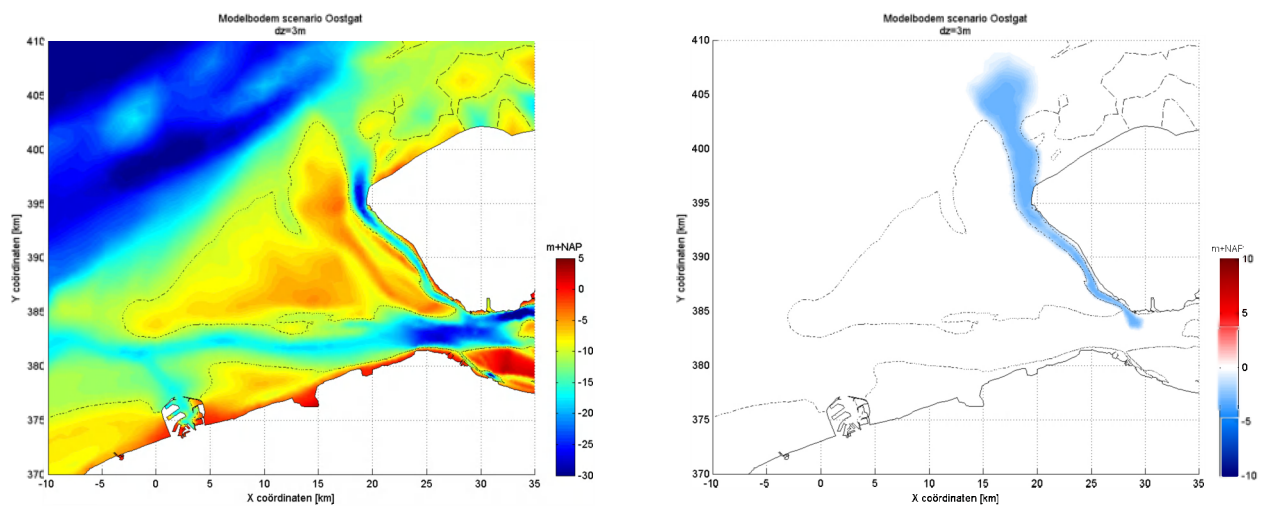
Doordat de amplitude van het getij afneemt bij een verdieping van het Oostgat, en het debiet door de monding van de Westerschelde iets afneemt, kan worden geconcludeerd dat het Oostgat voornamelijk belangrijk is voor de uitstroming van het getij. Onder andere in hoofdstuk 5 zal blijken dat de Wielingen juist belangrijk is voor de instroming van het getij. De getijvoortplanting in de Westerschelde kan daarmee worden geschematiseerd als in Figuur 3.1



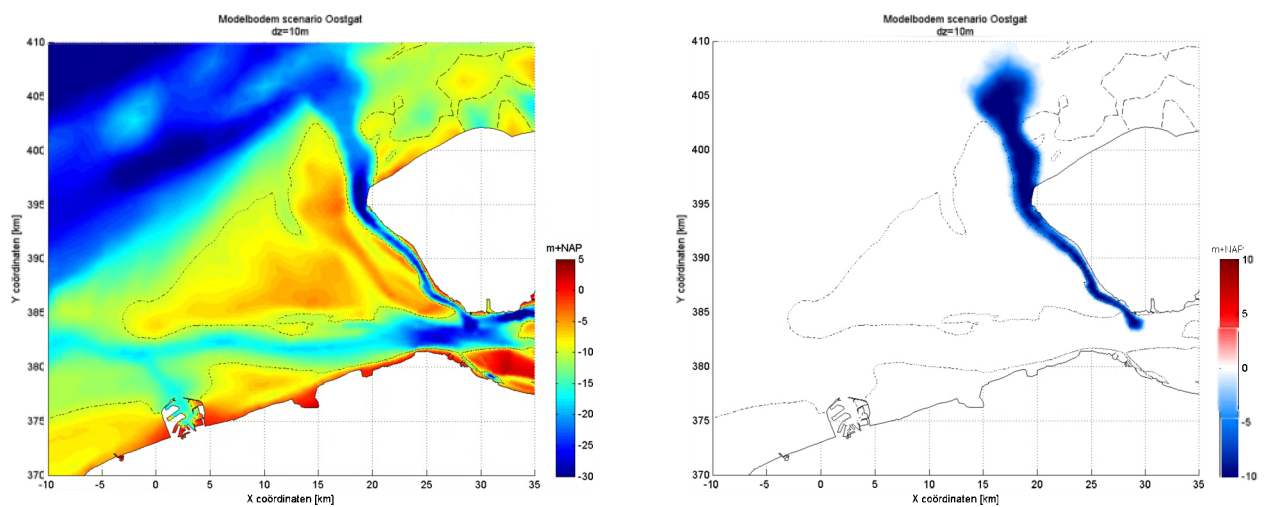
Figuur 3.1: Schematische weergave van de voortplanting van het getij in de Westerschelde.



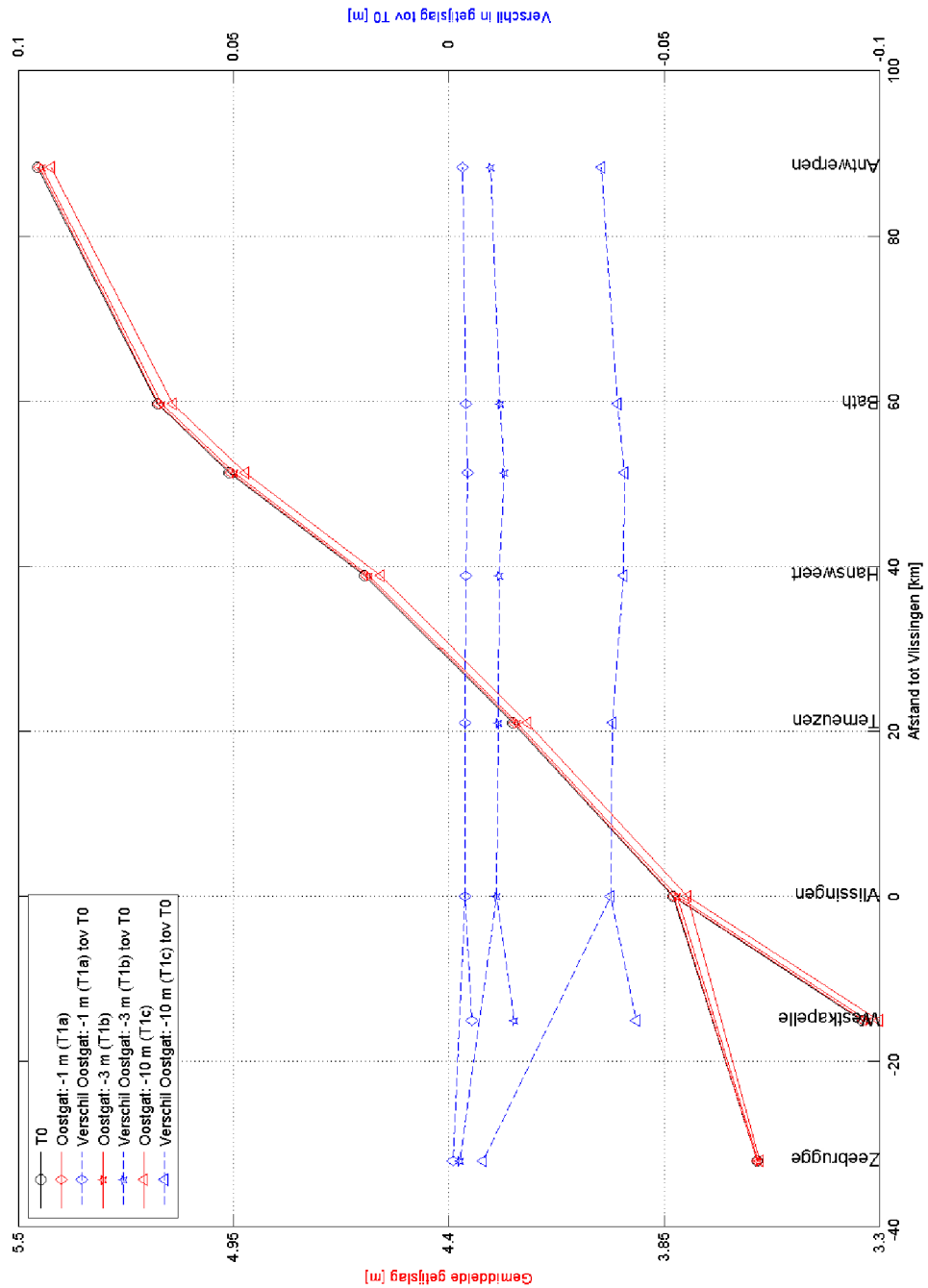
Figuur 3.2: Modelbodem voor scenario T1a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



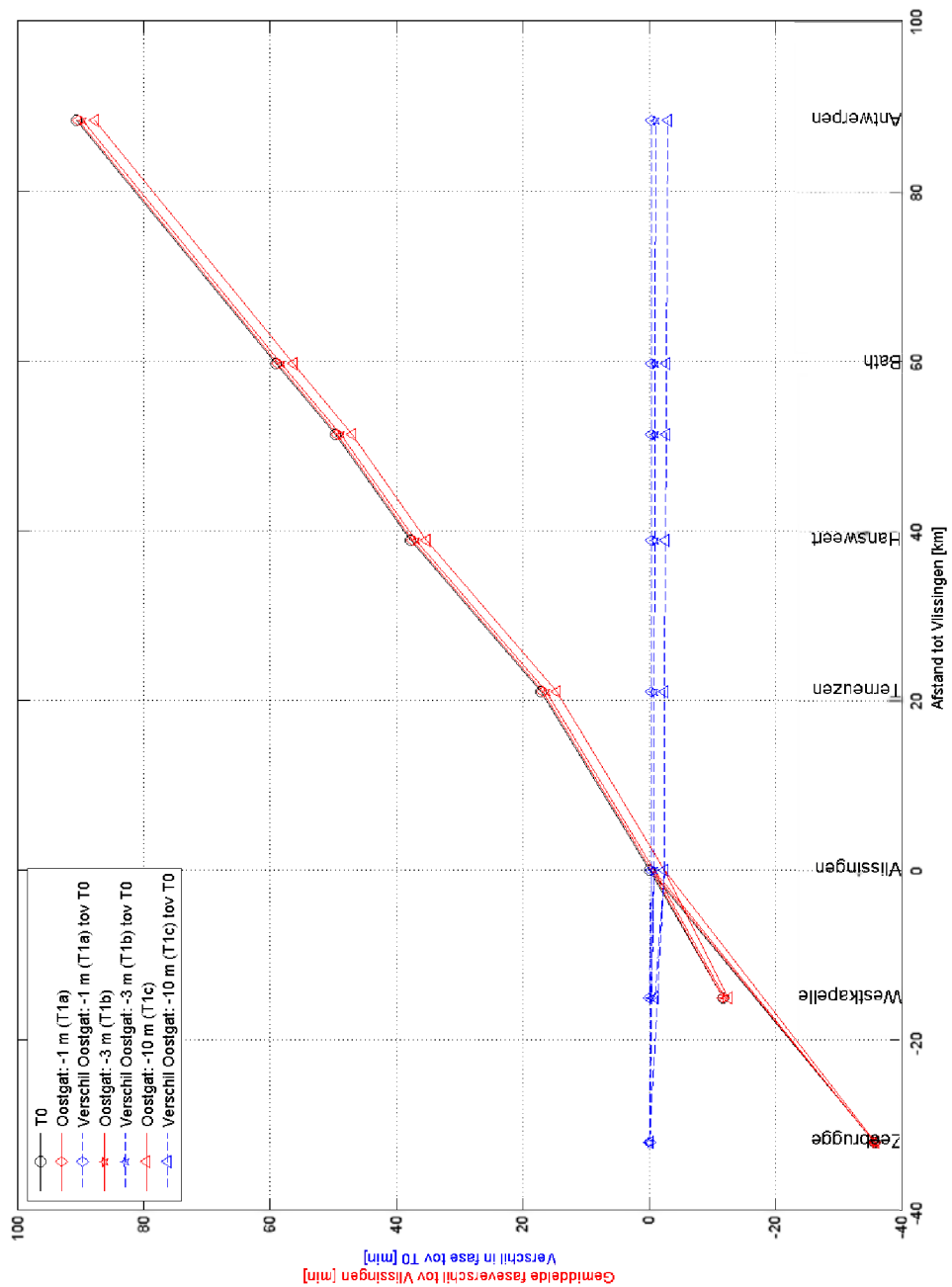
Figuur 3.3: Modelbodem voor scenario T1b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



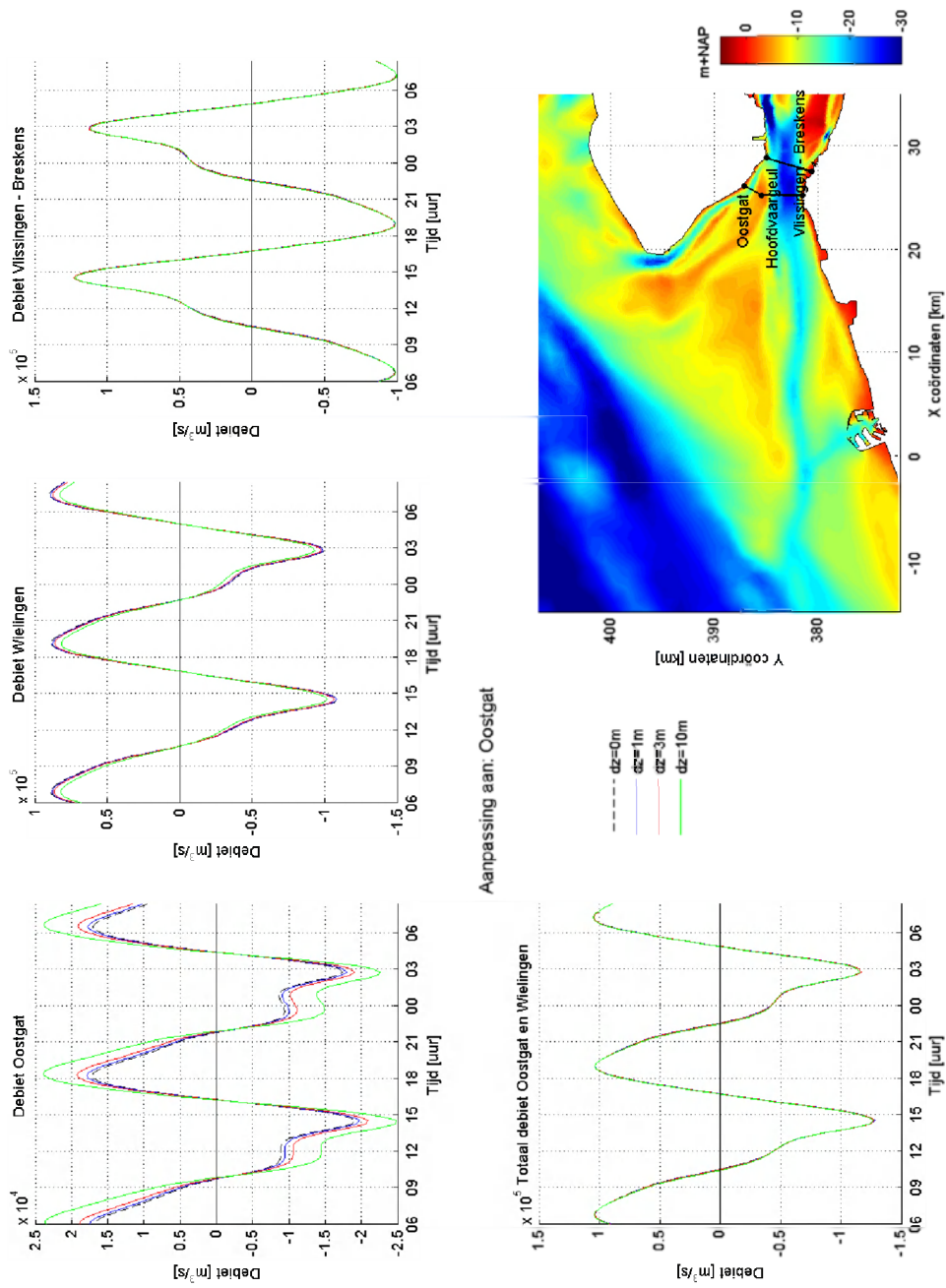
Figuur 3.4: Modelbodem voor scenario T1c, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



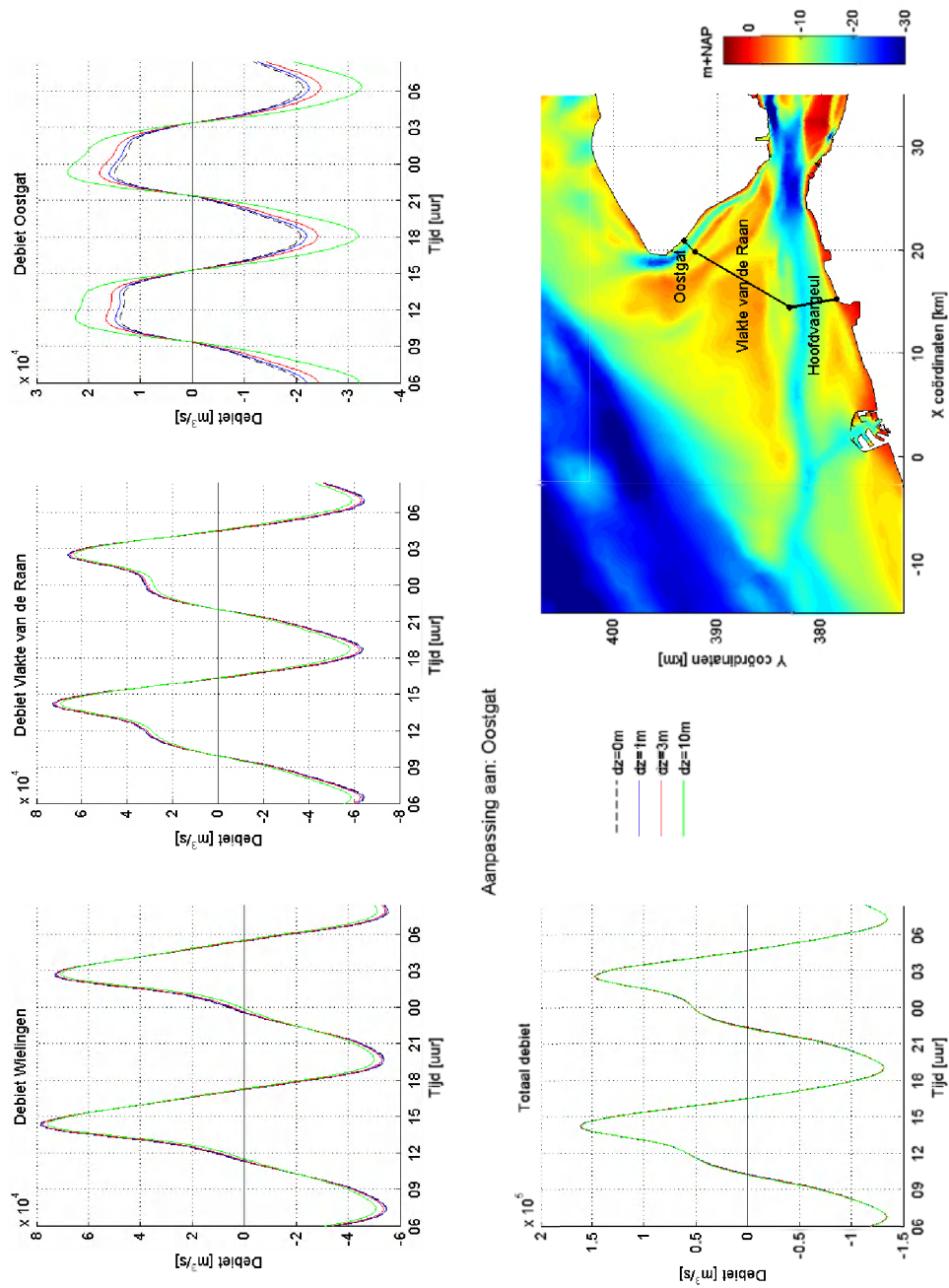
Figuur 3.5: Getijslag voor scenario T1 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T1 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



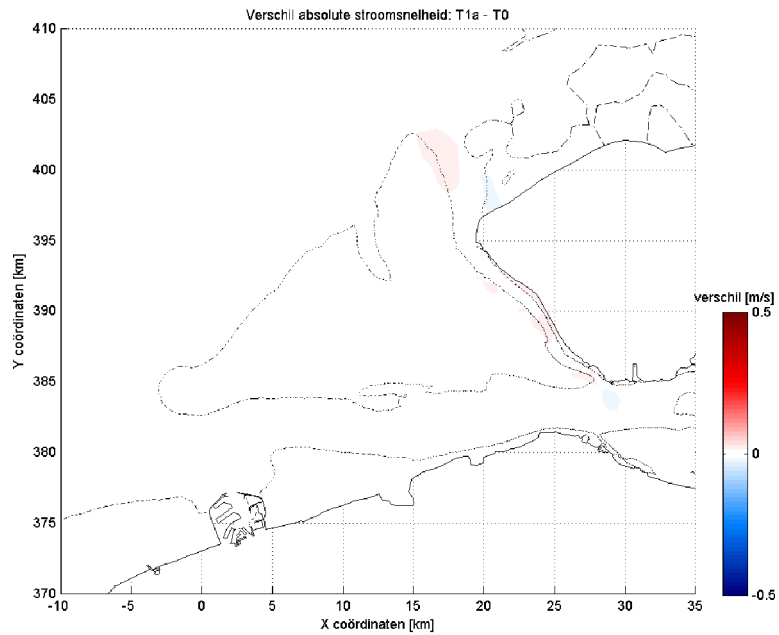
Figuur 3.6: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T1 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T1 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



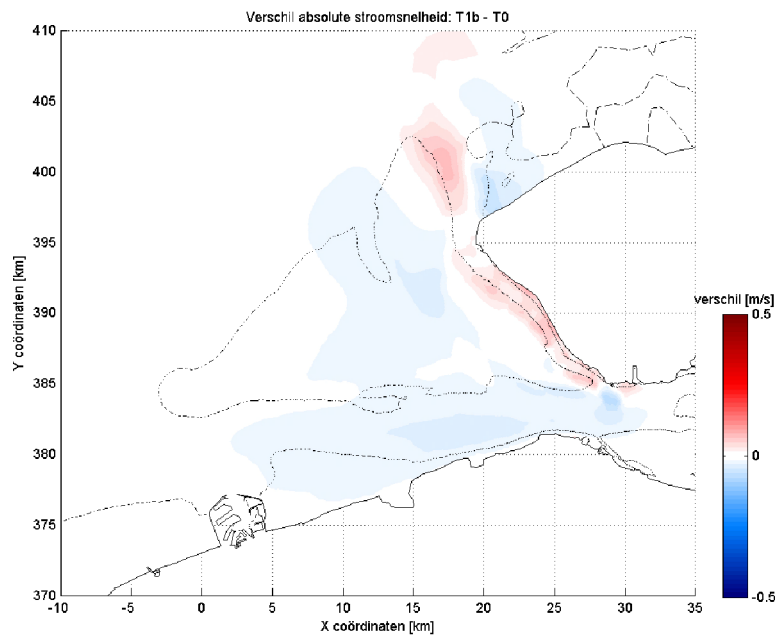
Figuur 3.7: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T1 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



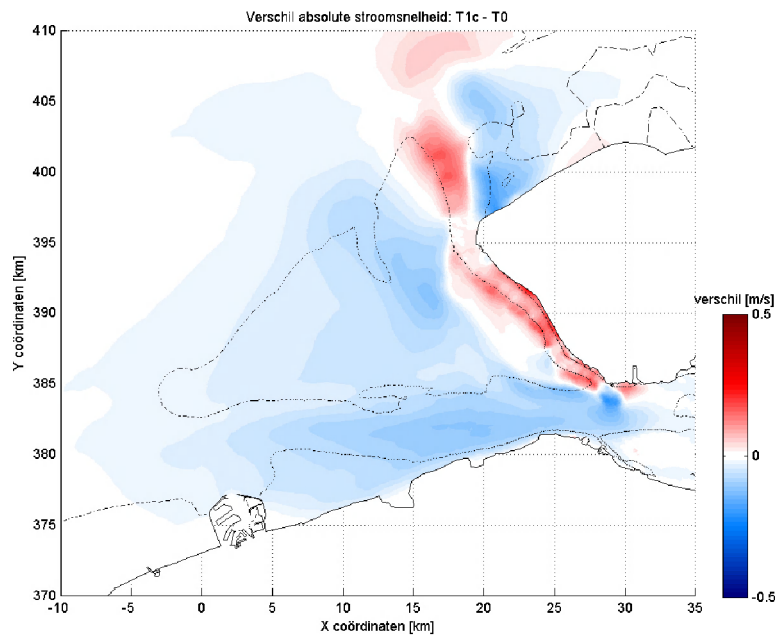
Figuur 3.8: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T1 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



Figuur 3.9: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T1a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T1a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 3.10: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T1b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T1b hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 3.11: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T1c rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T1c hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

4 RESULTATEN SCENARIO T2

In scenario T2 is de bodem van de Vlake van de Raan ondieper gemaakt. In scenario T2a met 1 m (Figuur 4.1), in scenario T2b met 3 m (Figuur 4.2) en in scenario T2c met 10 m (Figuur 4.3). Een overzicht van de scenario's wordt gegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T2a	Vlake van de Raan	+1 m	277 Mm ³
T2b	Vlake van de Raan	+3 m	833 Mm ³
T2c	Vlake van de Raan	+10 m	2775 Mm ³

In Figuur 4.4 is de getijslag ter plaatse van de hoofdstations in de Westerschelde voor scenario T0, T2a, T2b en T2c weergegeven. Het verschil in getijslag ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur opgenomen. In de figuur is te zien dat de ophoging van de Vlake van de Raan een toename van de getijslag tot gevolg heeft, behalve ter plaatse van Westkapelle (Oostgat), waar een duidelijke verlaging van de getijslag zichtbaar is. Vermoedelijk wordt het Oostgat als gevolg van de verhoging van de Vlake van de Raan enigszins dichtgeknepen, zoals zichtbaar is in Figuur 4.1, Figuur 4.2 en Figuur 4.3 en de afname van het debiet (Figuur 4.6 en Figuur 4.7).

In zowel scenario T2a en T2b is de toename in de getijslag vrijwel constant door de Westerschelde heen en bedraagt 1 cm respectievelijk 2 cm. In scenario T2c varieert het effect op de getijslag van een maximaal een toename van 9 cm bij Hansweert tot geen verschil in de getijslag bij Antwerpen. In dit scenario is de ingreep dusdanig ingrijpend dat de vorm van de getijcurve sterk veranderd is. De redenering dat het verschil in de monding gelijk is aan het verschil bij Antwerpen gaat daardoor niet op.

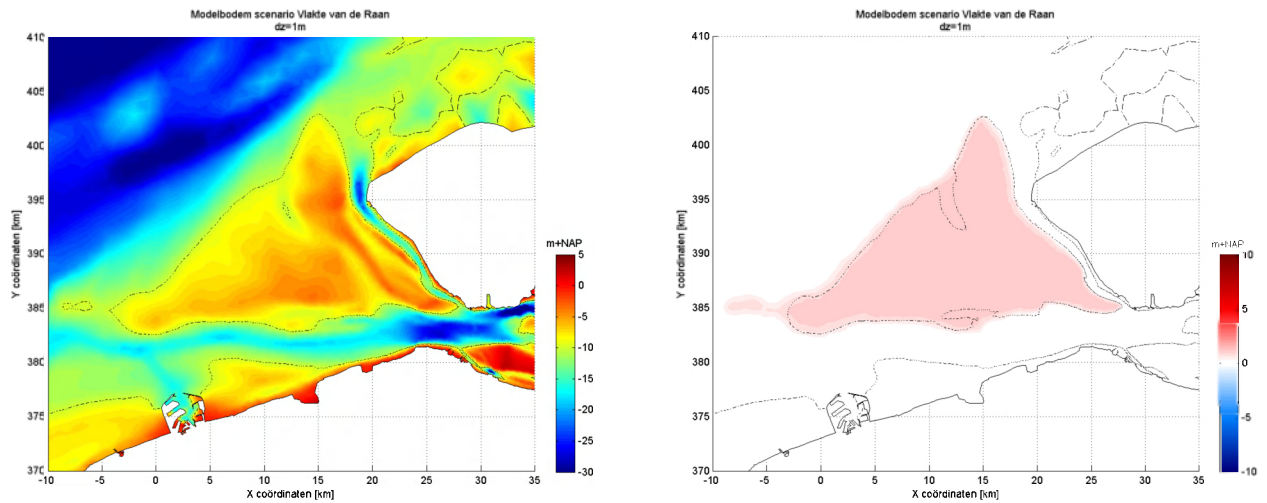
Het gemiddelde faseverschil in de getijvoortplanting in minuten ten opzichte van scenario T0 bij Vlissingen wordt gepresenteerd in Figuur 4.5. Het faseverschil tussen de scenario's T2a, T2b en T2c ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur weergegeven. De verhoging van de Vlake van de Raan leidt tot een vertraging van de getijvoortplanting in de monding van de Westerschelde. Het verschil dat in de monding ontstaat, blijft in de Westerschelde ongeveer constant. De vertraging van het getij bedraagt ongeveer 2 minuten, 6 minuten en 30 minuten voor scenario T2a, T2b en T2c respectievelijk.

Het debiet over de Vlake van de Raan, door het Oostgat en door de Wielingen, evenals het totale debiet door de monding, wordt getoond in Figuur 4.6 en Figuur 4.7. In Figuur 4.7 is te zien dat het debiet over de Vlake van de Raan reduceert ten gevolge van de afname van de diepte. In het geval van scenario T2c, waar de Vlake van de Raan met 10 m is opgehoogd, leidt dit tot een debiet van vrijwel 0. De reductie van het debiet wordt grotendeels gecompenseerd door een toename van het debiet in de Wielingen. Het totale debiet door de monding van de Westerschelde neemt af als gevolg van het reduceren van de diepte van de Vlake van de Raan.

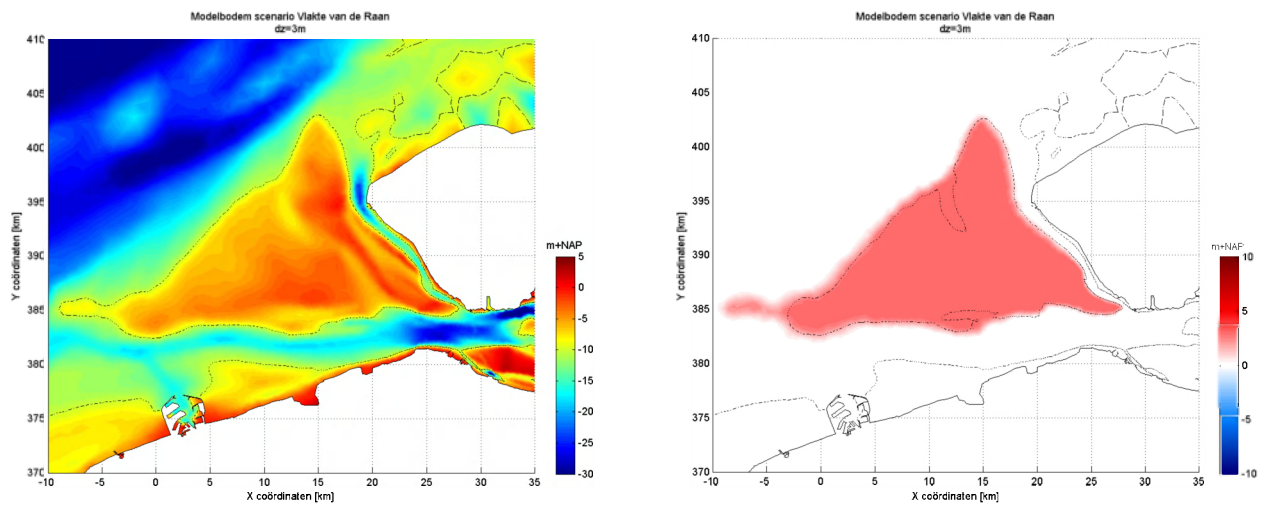
Het verschil in stroomsnelheid ten gevolge van de herverdeling van de debieten over de monding van scenario T2a, T2b en T2c ten opzichte van scenario T0 is weergegeven in Figuur 4.8, Figuur 4.9 en Figuur 4.10 respectievelijk. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de stroming op hetzelfde tijdstip is vergeleken, en niet op hetzelfde fasemoment. Voor zowel scenario T2a, T2b en T2c is een toename van de stroomsnelheid ter plaatse van de Wielingen zichtbaar. De stroomsnelheid is toegenomen doordat het debiet in de Wielingen is toegenomen, terwijl het doorstroomoppervlak gelijk gebleven is. De stroomsnelheid in de Wielingen neemt toe naarmate de bodem van de Vlake van de Raan ondieper is.

Op de Vlakte van de Raan is zowel een toename (Figuur 4.8, scenario T2a, en Figuur 4.9, scenario T2b) als afname (Figuur 4.10, scenario T2c) van de stroomsnelheid zichtbaar. In de tijdserie van de stroomsnelheid (niet getoond) op de Vlakte van de Raan is zowel deze toename (scenario T2a en T2b) als de afname (scenario T2c) eveneens zichtbaar. In het Oostgat is voor de drie scenario's een toename van de stroomsnelheid zichtbaar in Figuur 4.8, Figuur 4.9 en Figuur 4.10. In de tijdserie van de stroomsnelheid die ter plaatse van Westkapelle is weggeschreven (niet getoond), wordt echter zichtbaar dat de toename in stroomsnelheid grotendeels door de faseverschuiving wordt veroorzaakt. In werkelijkheid neemt de stroomsnelheid daar af.

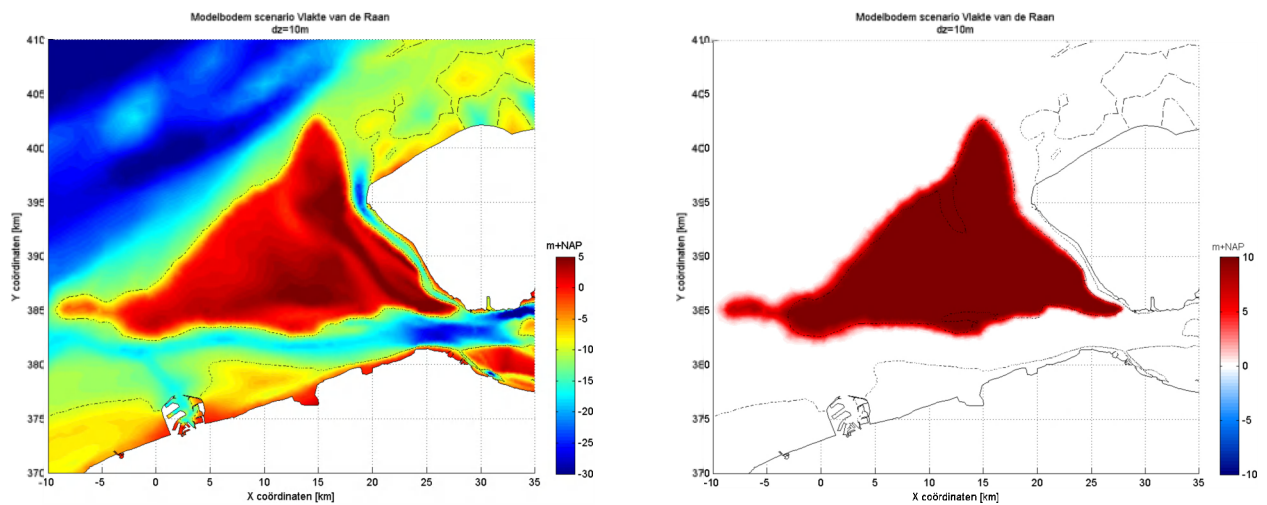
Uit bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de Vlakte van de Raan, net als het Oostgat, vooral belangrijk voor de uitstroming van het getij lijkt te zijn, zie Figuur 3.1 Door de diepte van de Vlakte van de Raan te reduceren wordt deze uitstroming bemoeilijkt, waardoor de getijslag toeneemt. Een verdieping van de Vlakte van de Raan zou dus wel tot een verlaging van de getijslag kunnen leiden.



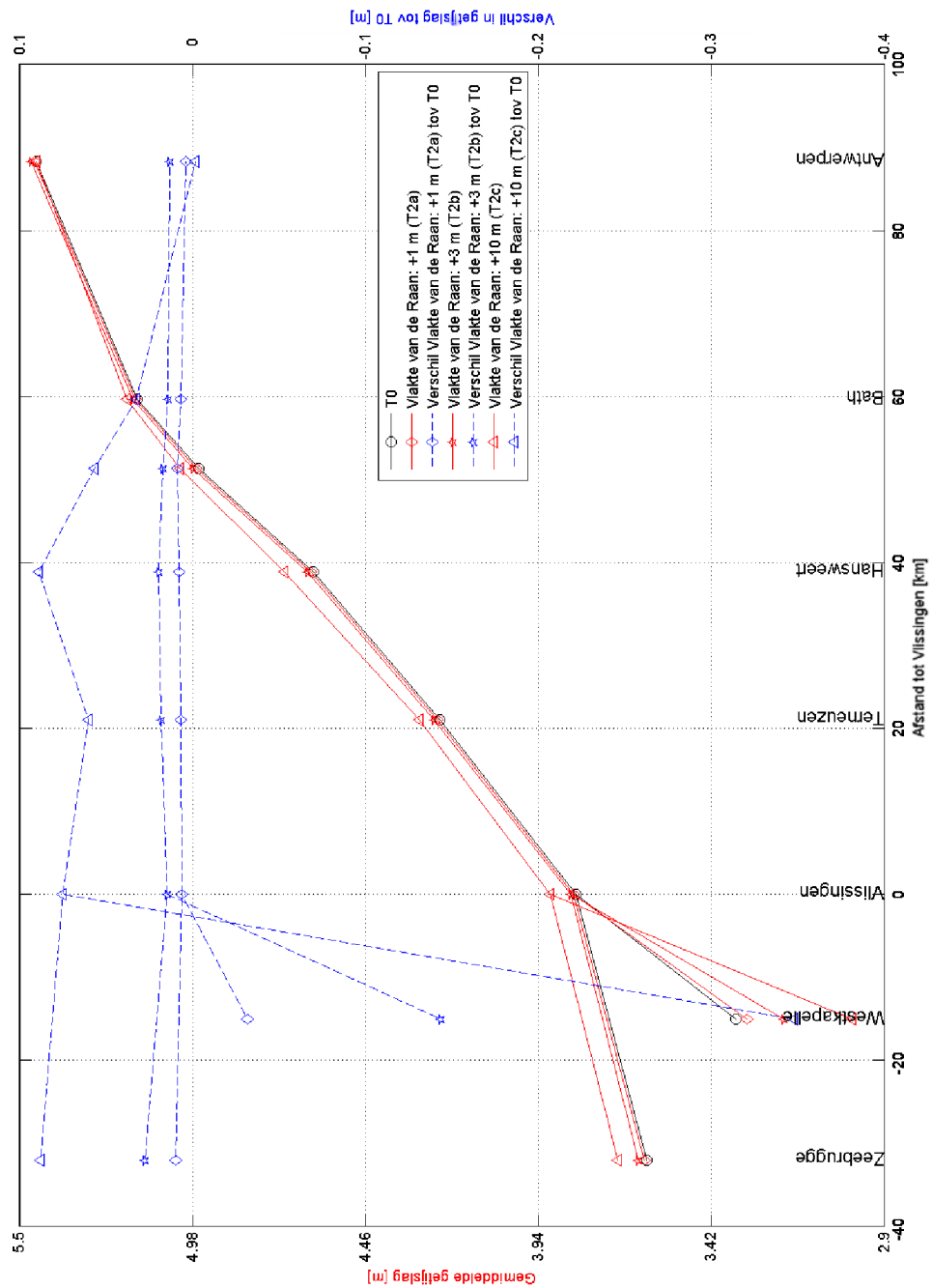
Figuur 4.1: Modelbodem voor scenario T2a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



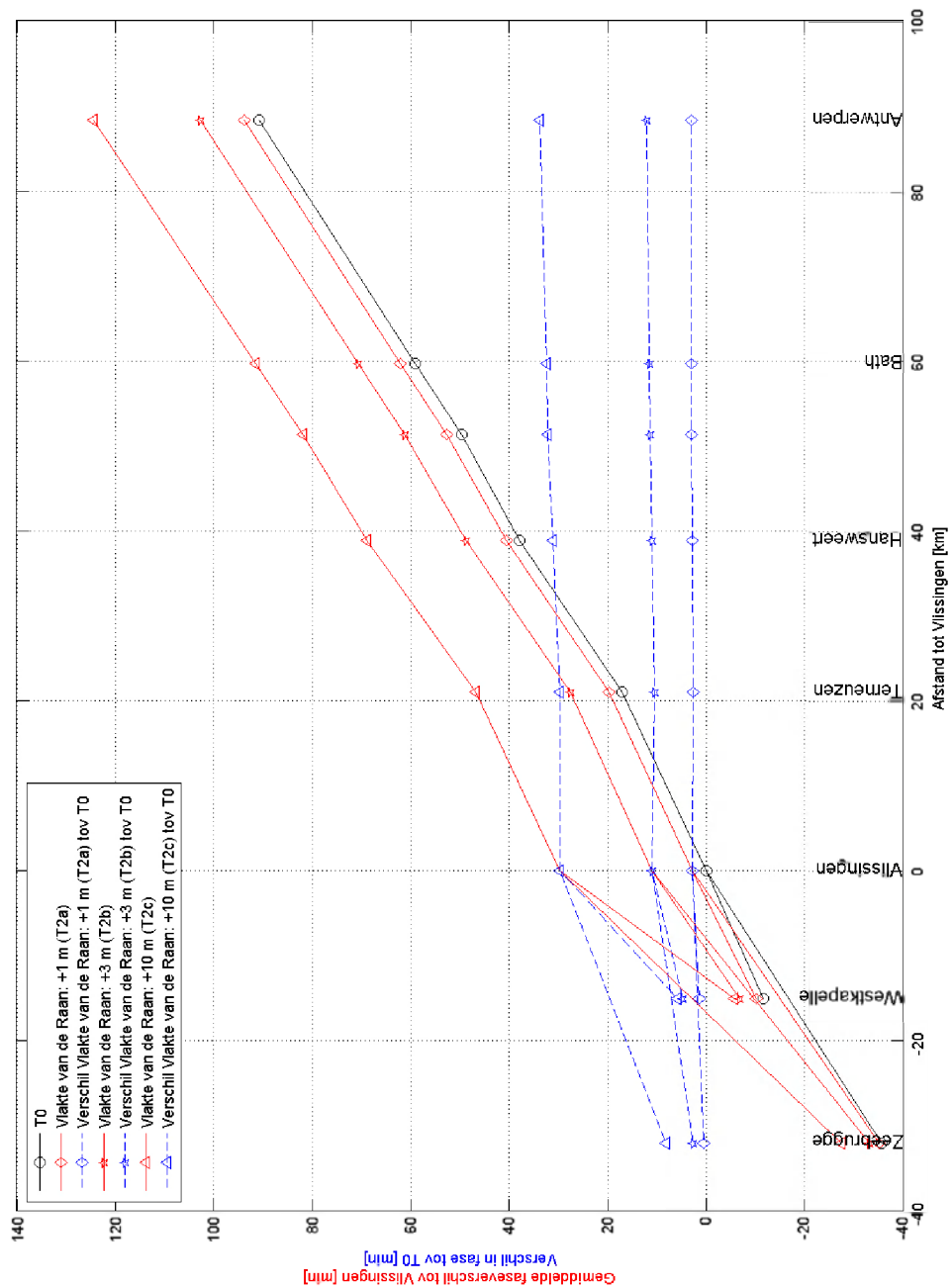
Figuur 4.2: Modelbodem voor scenario T2b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



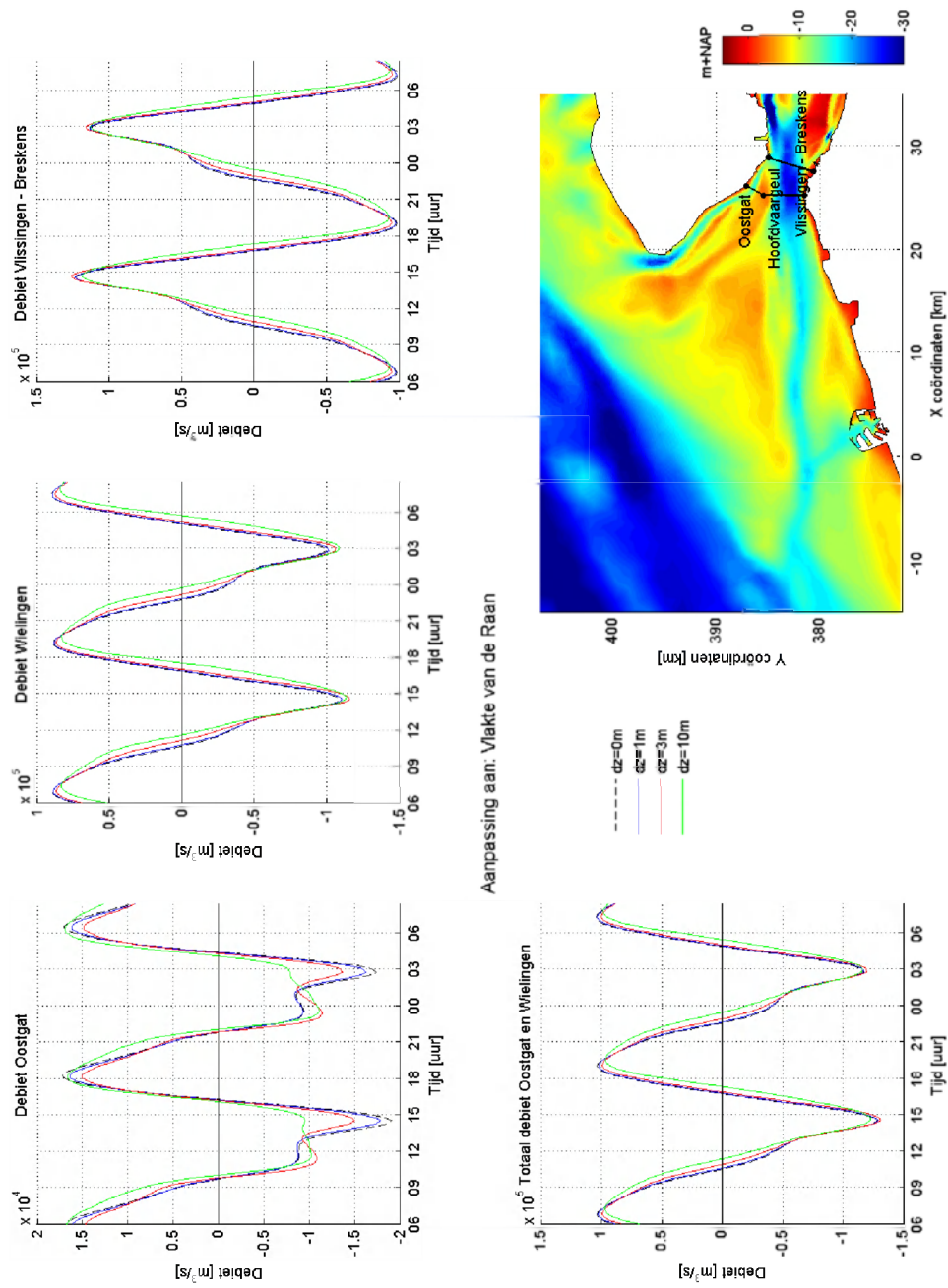
Figuur 4.3: Modelbodem voor scenario T2c, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



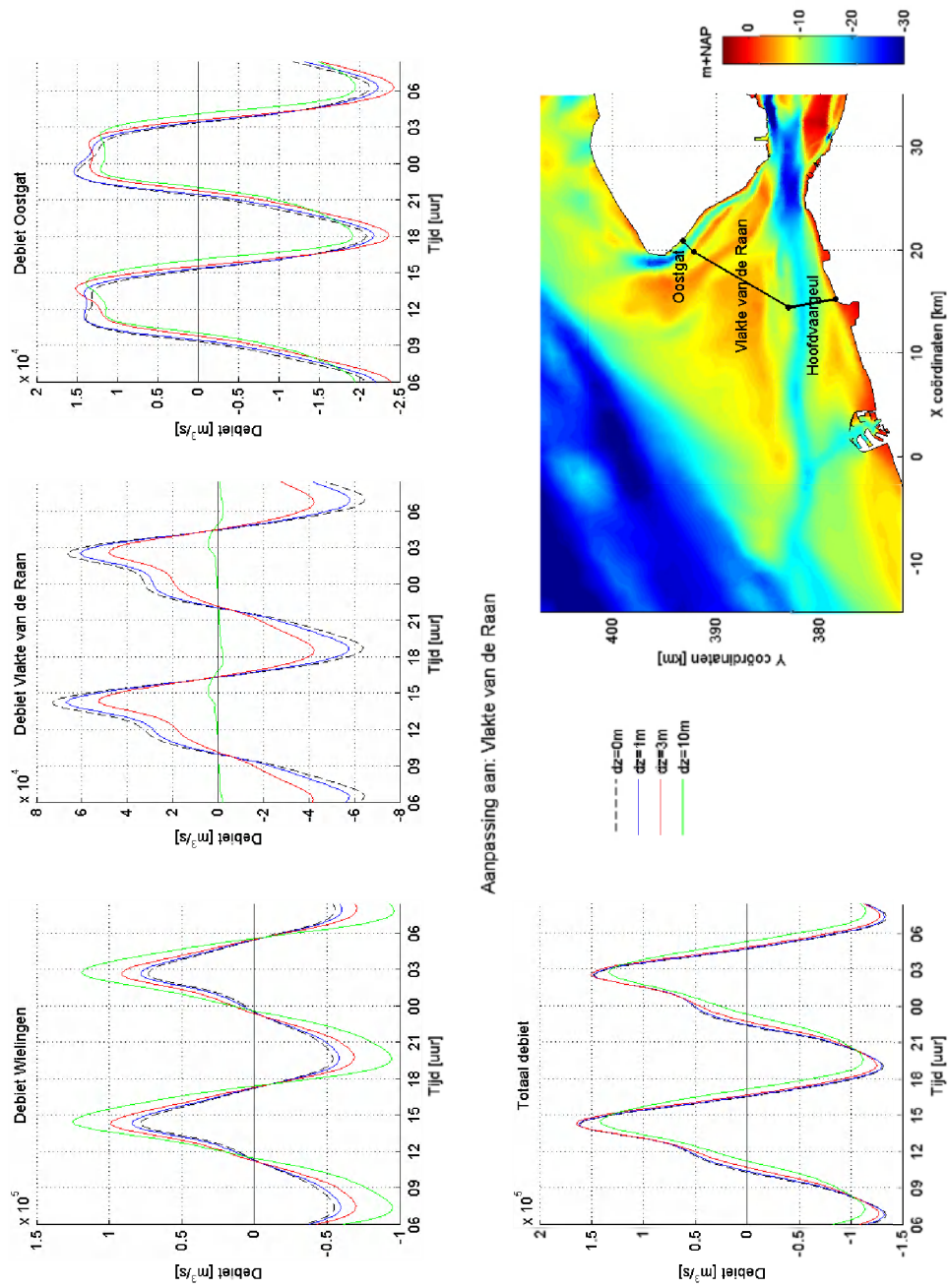
Figuur 4.4: Getijslag voor scenario T2 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T2 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



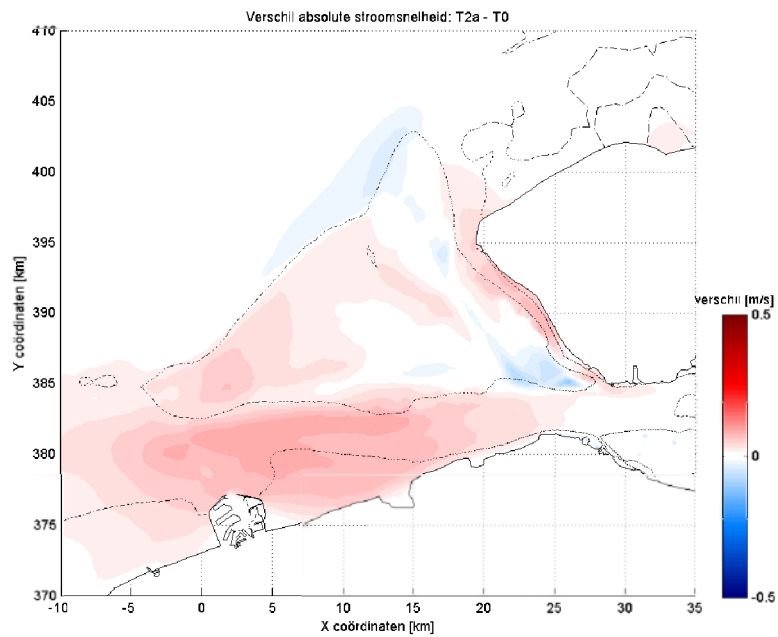
Figuur 4.5: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T2 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T2 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



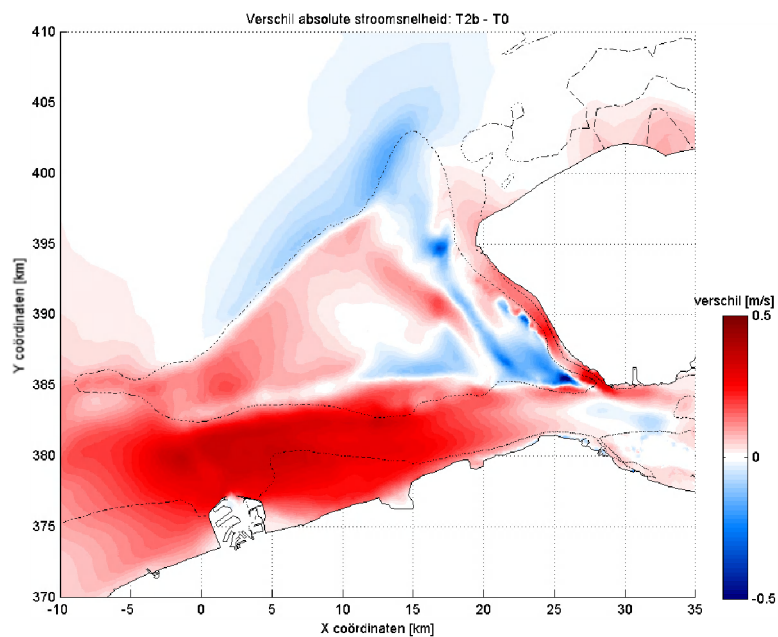
Figuur 4.6: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T2 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



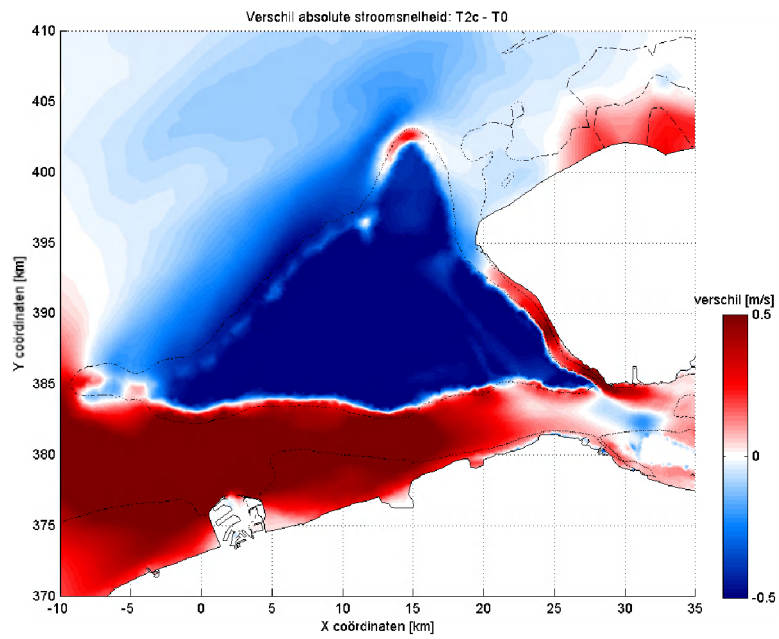
Figuur 4.7: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T2 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



Figuur 4.8: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T2a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T2a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 4.9: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T2b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T2b hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 4.10: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T2c rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T2c hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

5 RESULTATEN SCENARIO T3

In scenario T3 is de bodem van de Wielingen verdiept. In scenario T3a neemt de diepte met 1 m toe (Figuur 5.2), in scenario T3b met 3 m (Figuur 5.3) en in scenario T3c met 10 m (Figuur 5.4). De ingrepen zijn samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T3a	Wielingen	-1 m	-79 Mm ³
T3b	Wielingen	-3 m	-239 Mm ³
T3c	Wielingen	-10 m	-802 Mm ³

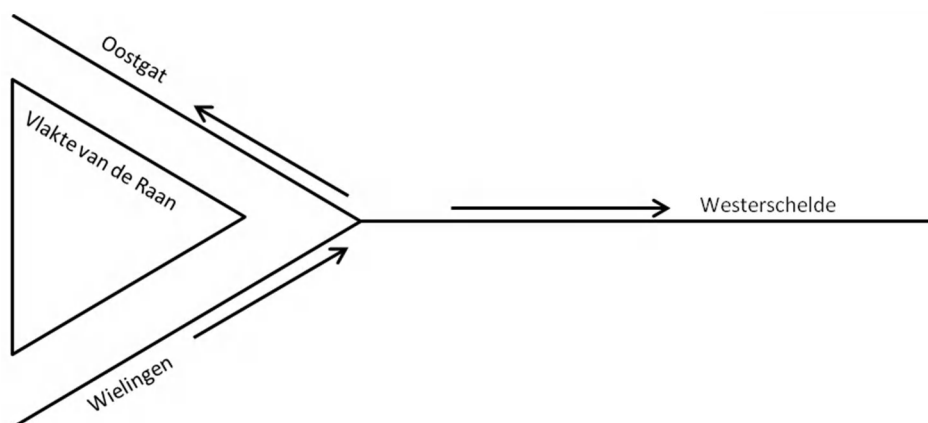
De getijslag voor de verschillende hoofdstations in de Westerschelde is voor scenario T0, T3a, T3b en T3c weergegeven in Figuur 5.5. Ook het verschil tussen de getijslag van scenario T3a, T3b en T3c ten opzichte van scenario T0 is in de figuur weergegeven. De drie scenario's hebben een toename van de getijslag in de Westerschelde tot gevolg die ontstaat in de monding. Ter plaatse van Zeebrugge, dat dicht bij de Wielingen ligt, is echter geen verschil in de getijslag aanwezig. In de Westerschelde zelf blijft de toename van de getijslag constant. De toename van de getijslag in de Westerschelde bedraagt ongeveer 1 cm, 2cm en 4,5 cm voor scenario T3a, T3b en T3c respectievelijk.

In Figuur 5.6 wordt het gemiddelde faseverschil in de getijvoortplanting in minuten ten opzichte van scenario T0 bij Vlissingen gepresenteerd, evenals het faseverschil van de scenario's T3a, T3b en T3c ten opzicht van scenario T0. Het verdiepen van de Wielingen leidt voor zowel scenario T3a, T3b als T3c tot een versnelling van de getijvoortplanting. De verschillen zijn echter klein, en bedragen ongeveer 0,5, 1 en 3 minuten. Het faseverschil ontstaat in de monding van het estuarium en is in de Westerschelde zelf constant.

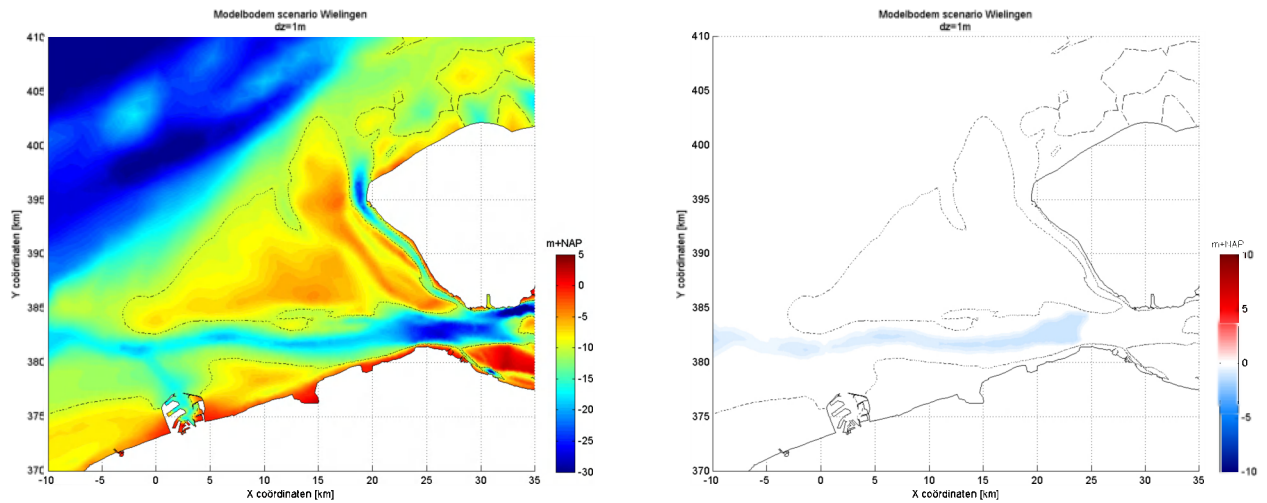
Het debiet door de Wielingen, het Oostgat en de Vlake van de Raan wordt getoond in Figuur 5.7 en Figuur 5.8, evenals het totale debiet door de monding van de Westerschelde. Het debiet in de Wielingen neemt toe, voornamelijk ten koste van het debiet over de Vlake van de Raan. Het totale debiet lijkt ietwat toe te nemen.

Door de aanpassingen in de morfologie in de monding wordt de stroomsnelheid beïnvloed. Het verschil in stroomsnelheid van scenario T3a, T3b en T3c ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 5.9. Figuur 5.10 en Figuur 5.11. Bij de figuur dient opgemerkt te worden dat de stroming op hetzelfde tijdstip is vergeleken, en niet op hetzelfde fasemoment, waardoor de vergelijking niet exact is. Tijdreeksen van de stroomsnelheden (niet getoond) wijzen uit dat de verschillen in stroomsnelheid zoals zichtbaar in de figuren voornamelijk door deze faseverschillen worden veroorzaakt.

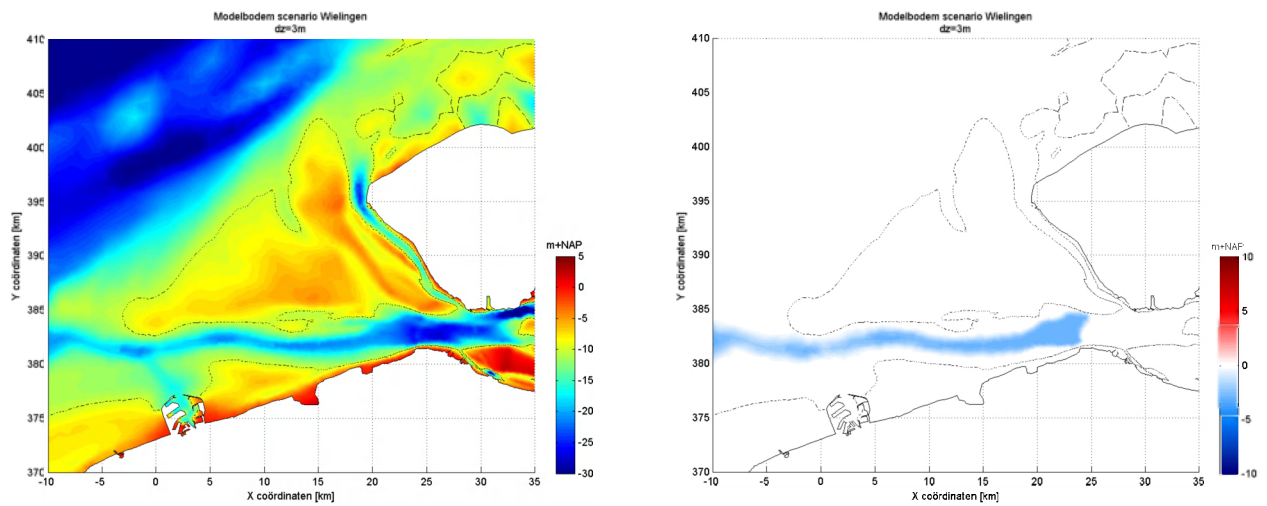
De toename in de diepte van de Wielingen leidt tot een toename van de getijslag. In tegenstelling tot de Vlake van de Raan en het Oostgat, is de Wielingen juist belangrijk voor de instroming van het getij. Een verondieping van de Wielingen zou wellicht wel kunnen leiden tot een verlaging van de getijslag. Dit wordt in volgende hoofdstukken verder onderzocht. Een schematisatie van de getijvoortplanting door de Westerschelde is getoond in Figuur 5.1.



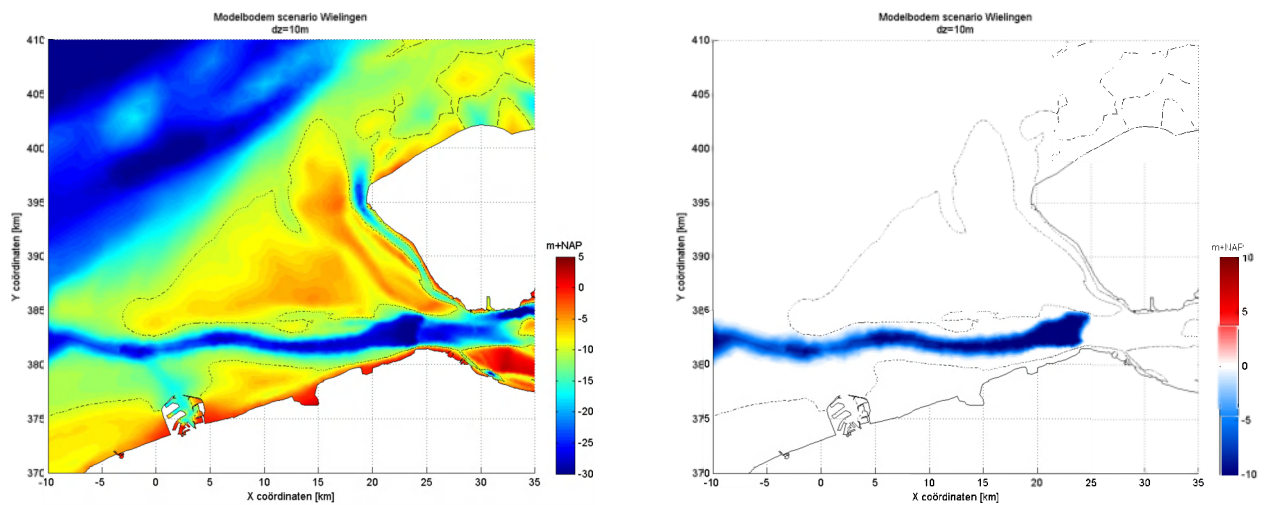
Figuur 5.1: Schematische weergave van de voortplanting van het getij in de Westerschelde.



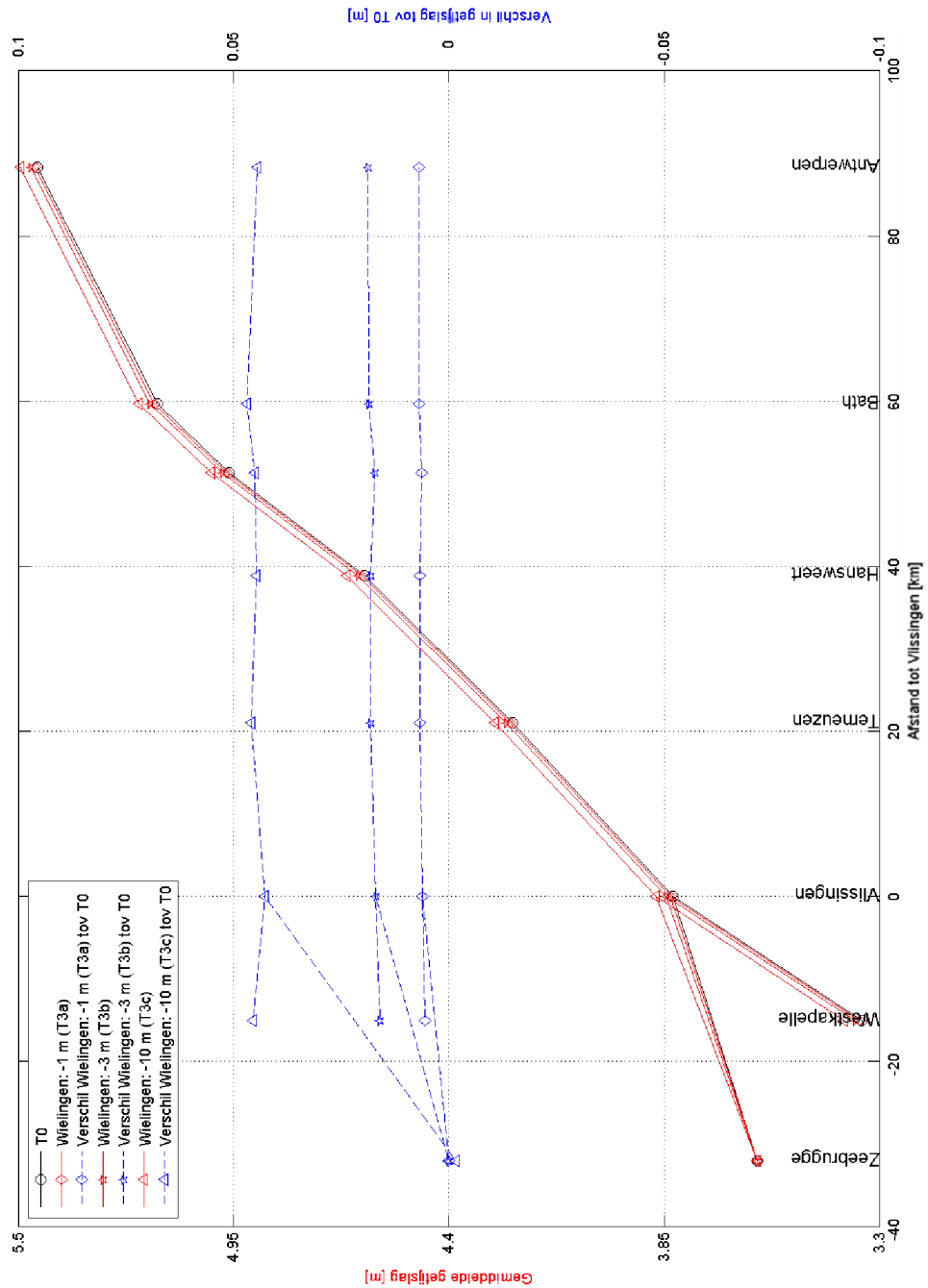
Figuur 5.2: Modelbodem voor scenario T3a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



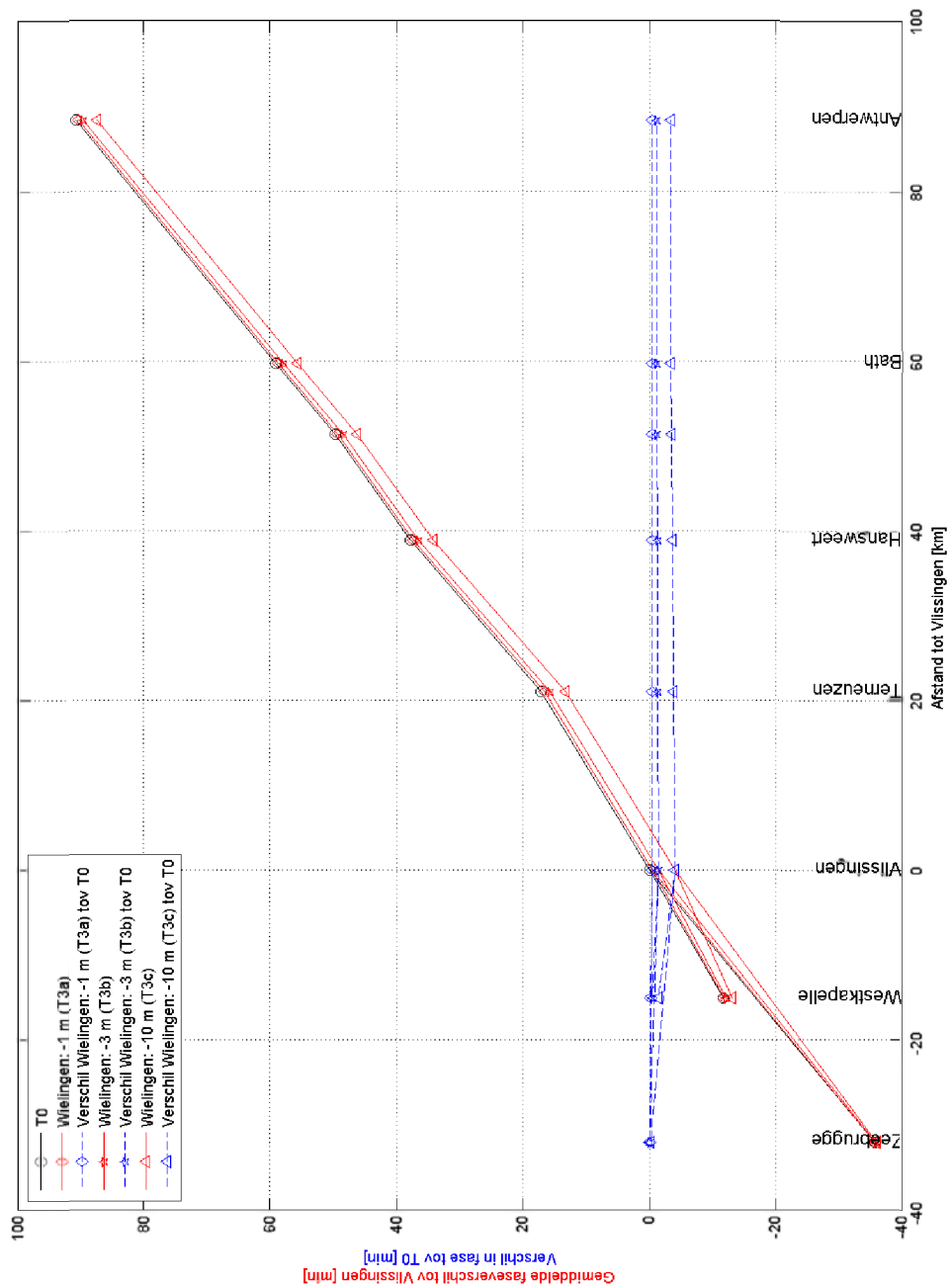
Figuur 5.3: Modelbodem voor scenario T3b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



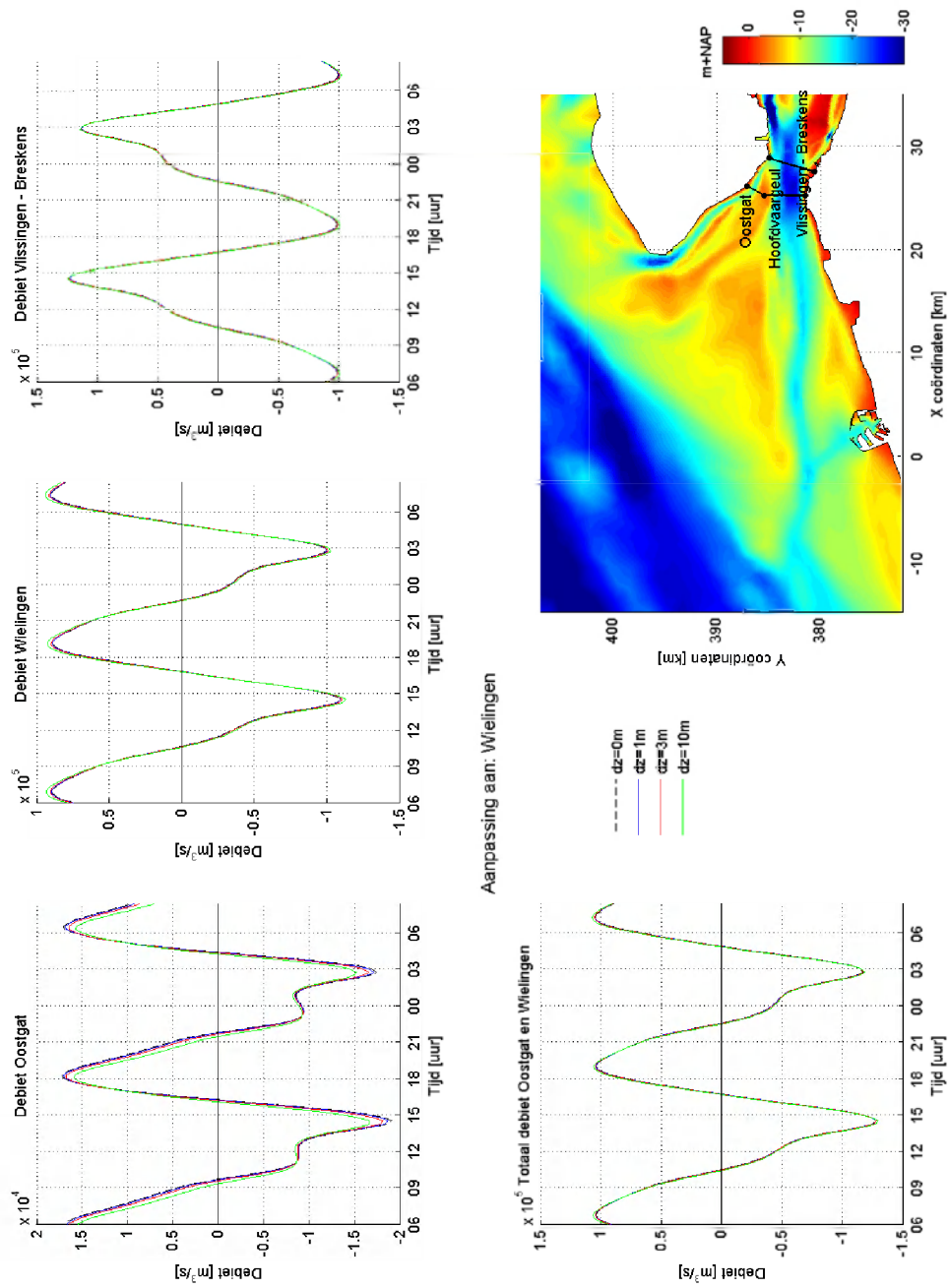
Figuur 5.4: Modelbodem voor scenario T3c, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



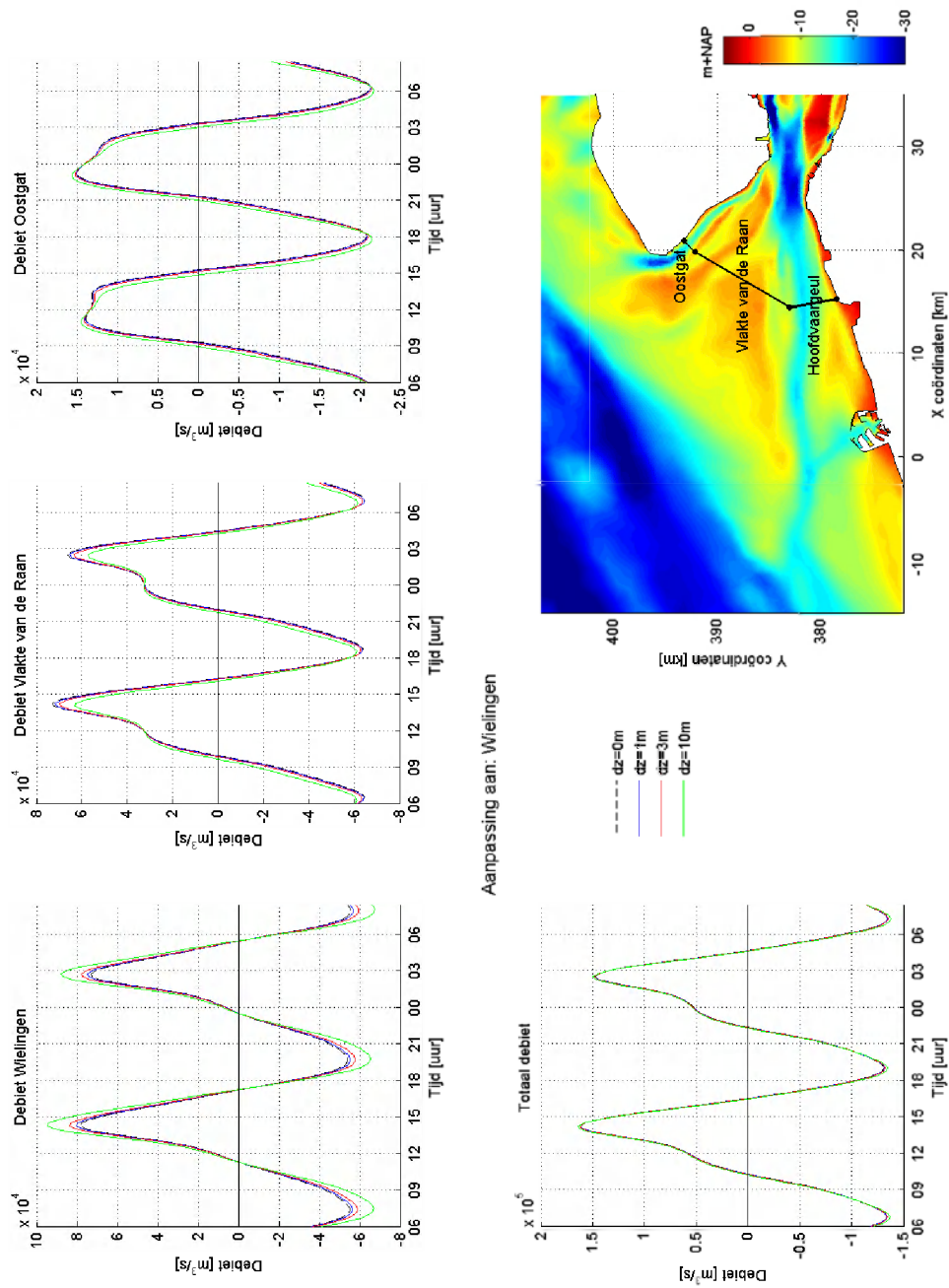
Figuur 5.5: Getijslag voor scenario T3 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T3 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



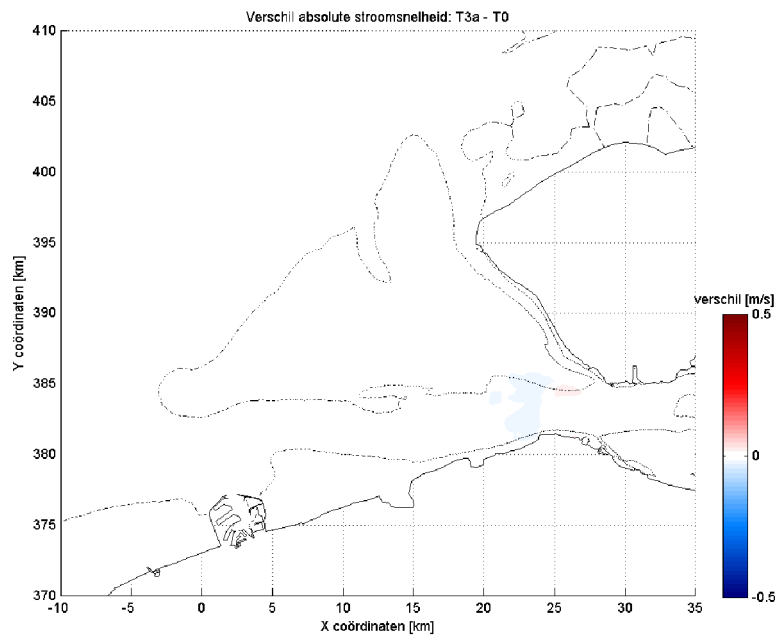
Figuur 5.6: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T3 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T3 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



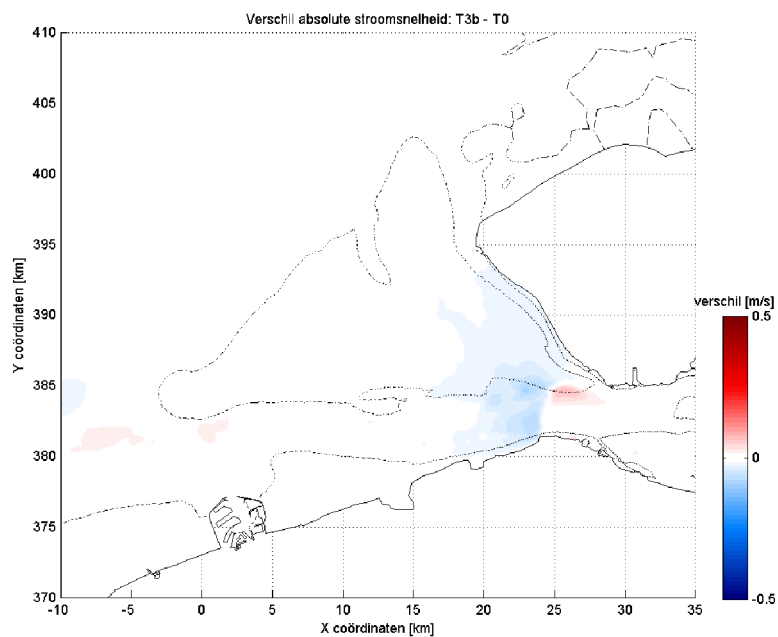
Figuur 5.7: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T3 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



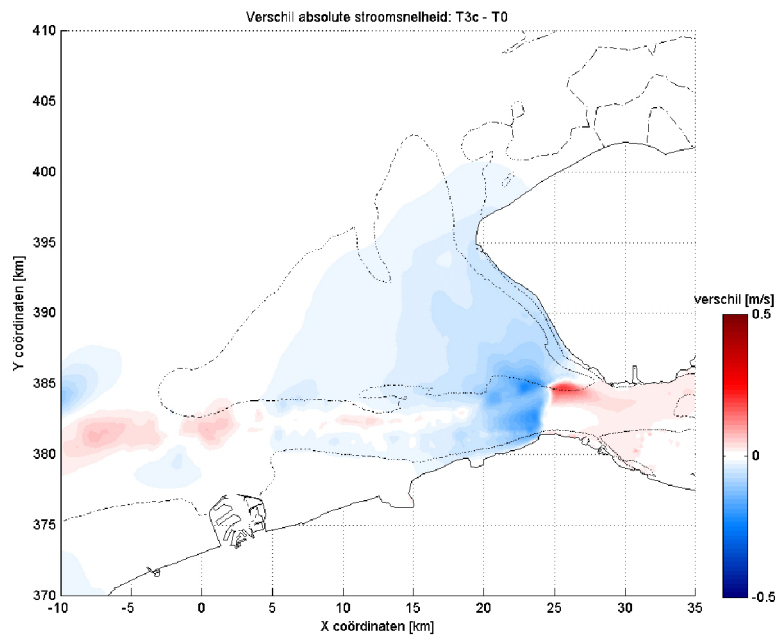
Figuur 5.8: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T3 ($dz=1\text{ m}$, $dz=3\text{ m}$, $dz=10\text{ m}$).



Figuur 5.9: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T3a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T3a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 5.10: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T3b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T3c hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 5.11: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T3c rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T3c hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

6 RESULTATEN SCENARIO T4

Een verondieping van de bodem tot NAP 0 m van het Oostgat is onderzocht in scenario T4, zie Figuur 6.1 en Tabel 6.1. De getijslag in de Westerschelde voor scenario T4 en scenario T0, en het verschil tussen de scenario's is gepresenteerd in Figuur 6.2. Bij scenario T4 is Westkapelle uit de grafiek weggelaten, omdat dit punt een groot deel van de berekening droog staat en de waarde van de getijslag daardoor niet representatief is. De verondieping van het Oostgat leidt tot een toename van de getijslag, die ontstaat in de monding. In de Westerschelde zelf varieert deze toename licht, tussen de 8 en 9 cm.

Tabel 6.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

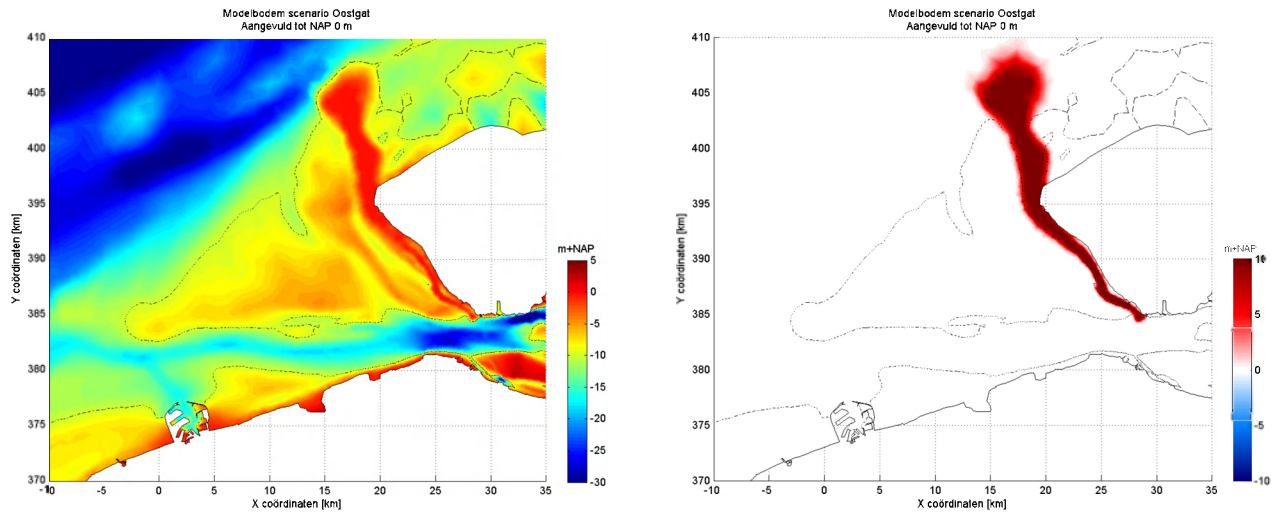
Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T4	Oostgat	Aanvullen tot NAP	648 Mm ³

De invloed van de ingreep op de fase is zichtbaar in Figuur 6.3. De ingreep veroorzaakt een vertraging van het getij, die evenals de toename van de getijslag in de monding ontstaat. Door de Westerschelde heen blijft dit faseverschil constant, en bedraagt ongeveer 3 minuten.

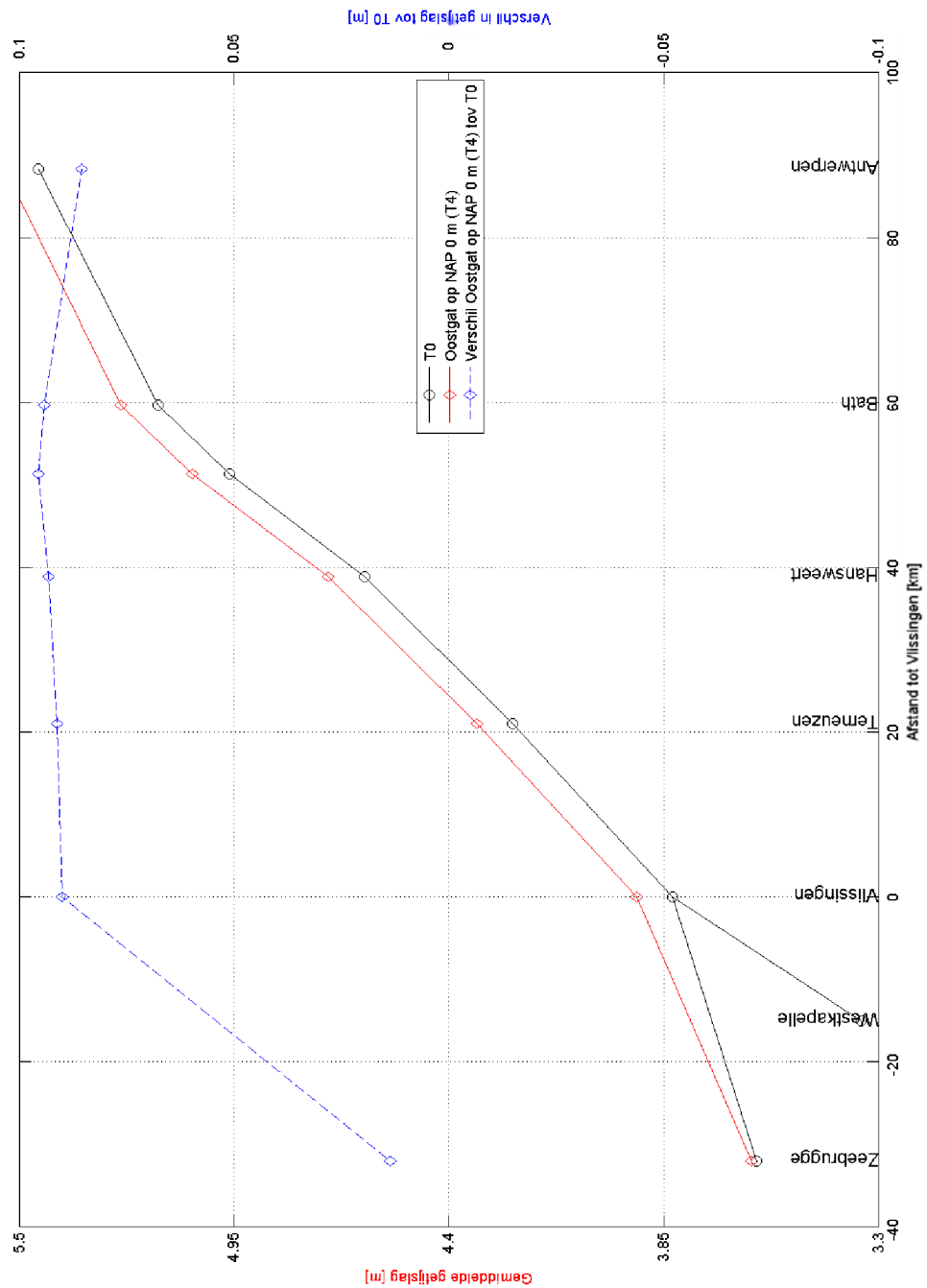
Het debiet door het Oostgat, de Wielingen en de Vlake van de Raan wordt getoond in Figuur 6.4 en Figuur 6.5. Ook het totale debiet door de monding van de Westerschelde wordt getoond. De figuur toont dat het debiet door het Oostgat sterk reduceert. Dit wordt gecompenseerd door een toename van het debiet in de Wielingen. Het totale debiet lijkt iets toe te nemen.

Figuur 6.6 toont de invloed op de stroomsnelheid. In het Oostgat neemt de stroomsnelheid logischerwijs sterk af, terwijl in de Wielingen en de Vlake van de Raan sprake is van een toename van de stroomsnelheid, doordat het water als het ware door deze twee gebieden gestuurd wordt. Ook hier geldt dat de stroomsnelheid op hetzelfde tijdstip wordt vergeleken, waardoor de vergelijking ten gevolge van faseverschillen niet exact is. Omdat het faseverschil beperkt is tot enkele minuten, wordt de trend in de figuren echter niet beïnvloed. De tijdreeksen van de stroomsnelheden die zijn weggeschreven (niet getoond) bevestigen dit beeld.

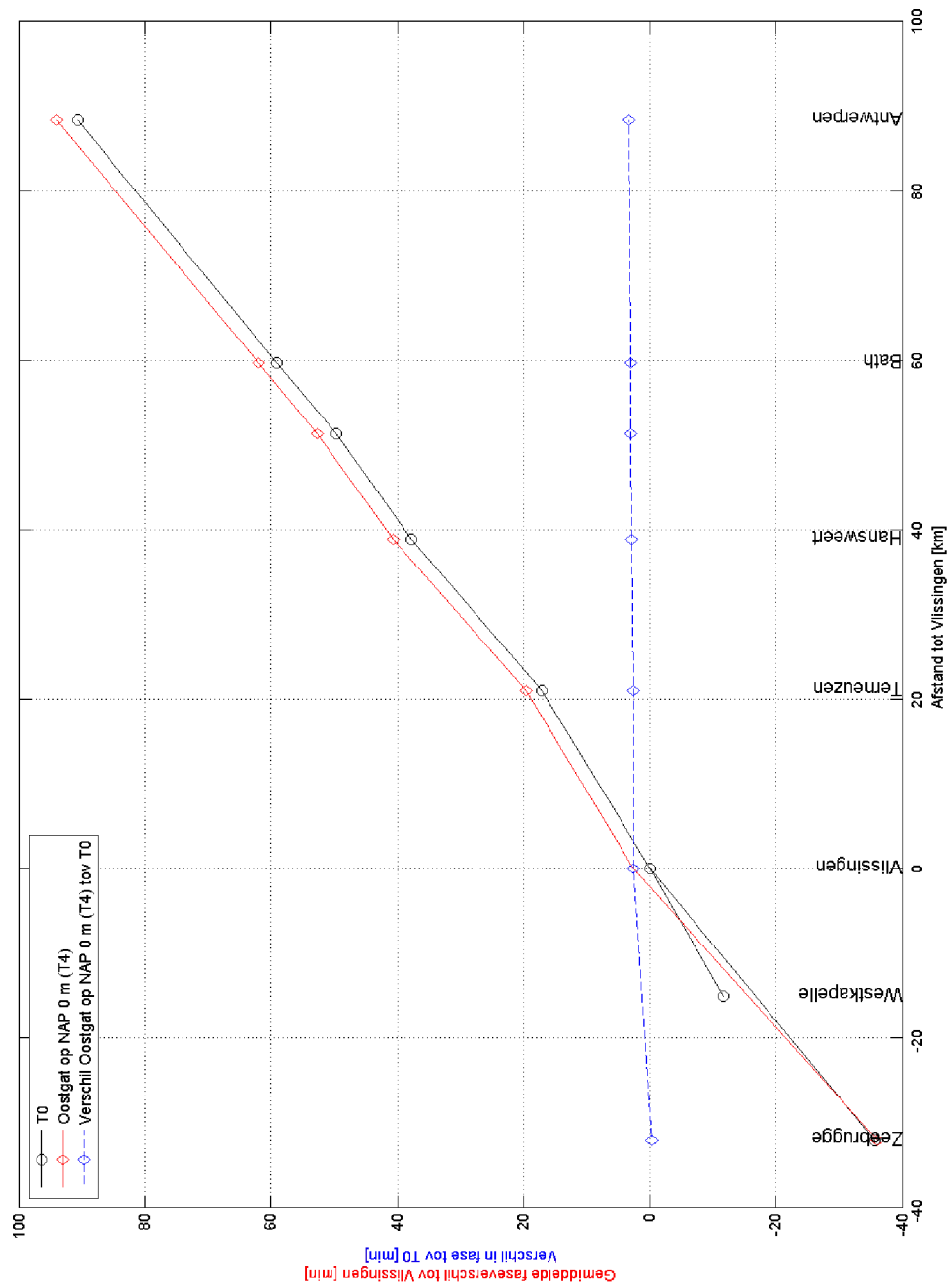
De uitkomst van de berekening bevestigt de waarnemingen van scenario T1, waar het Oostgat verdiept wordt. Het Oostgat lijkt belangrijk voor de uitstroming, en door het verondiepen van het Oostgat wordt deze uitstroming beperkt en neemt de getijslag toe.



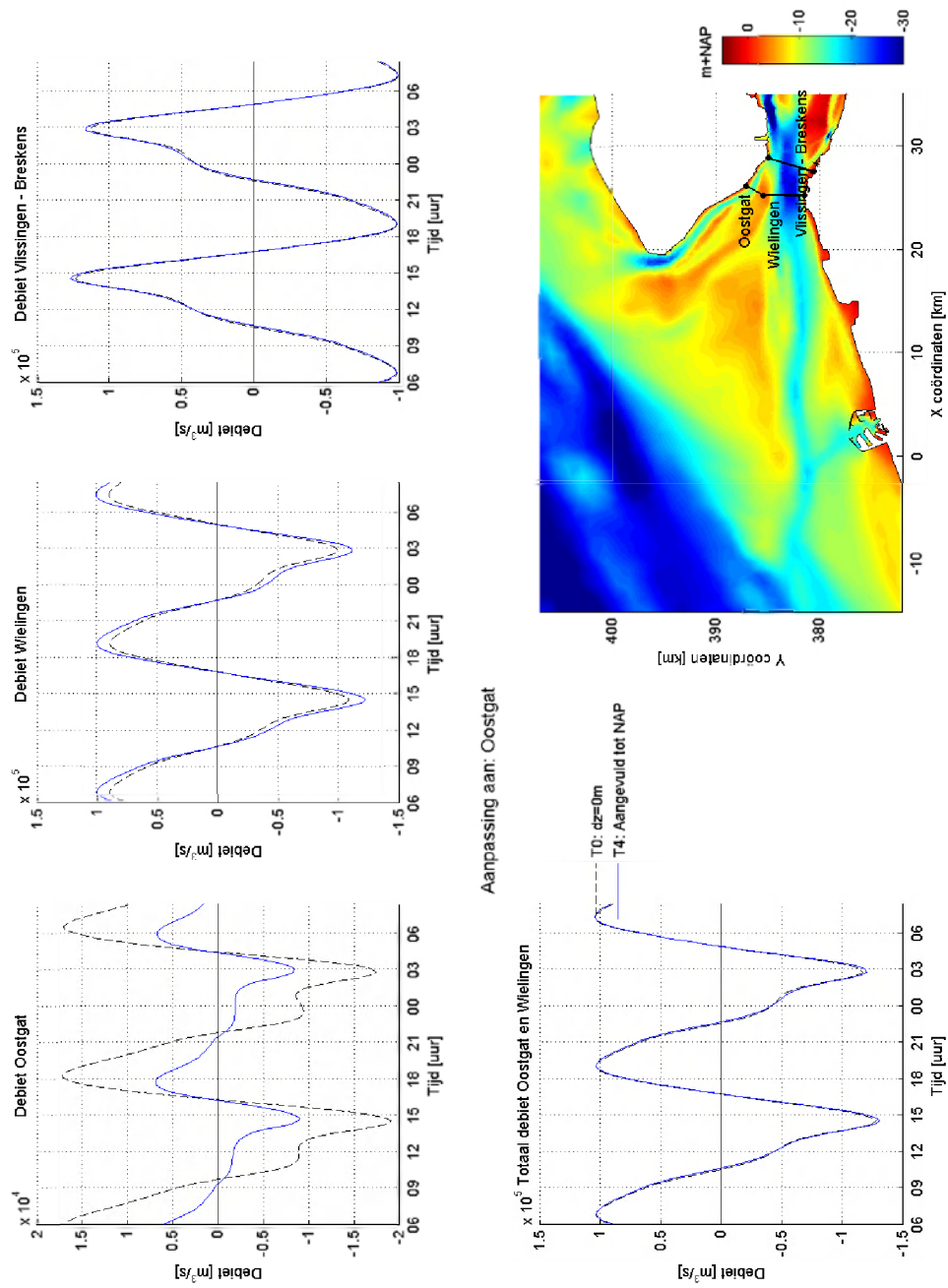
Figuur 6.1: Modelbodem voor scenario T4, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



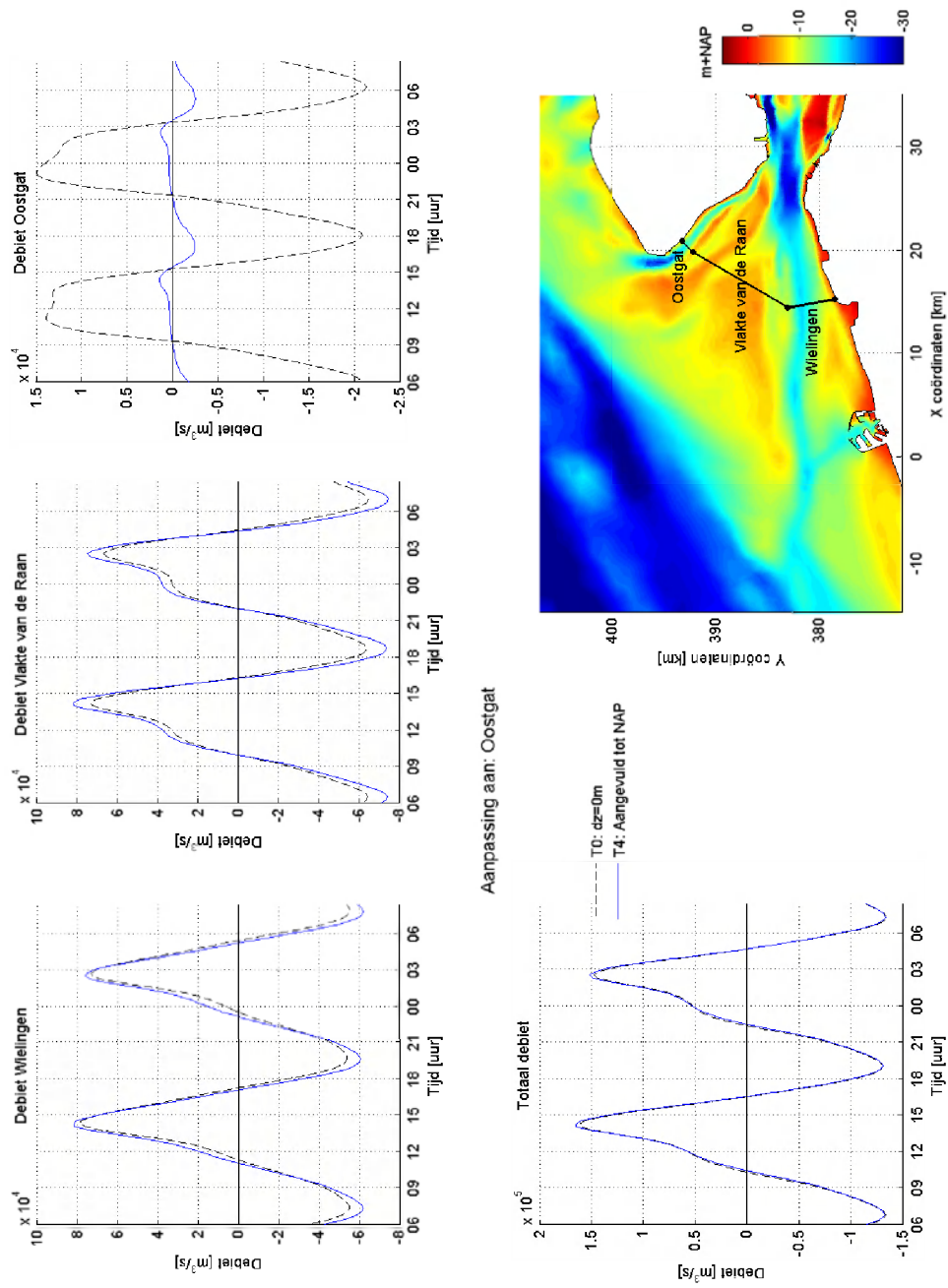
Figuur 6.2: Getijslag voor scenario T4 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T4 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



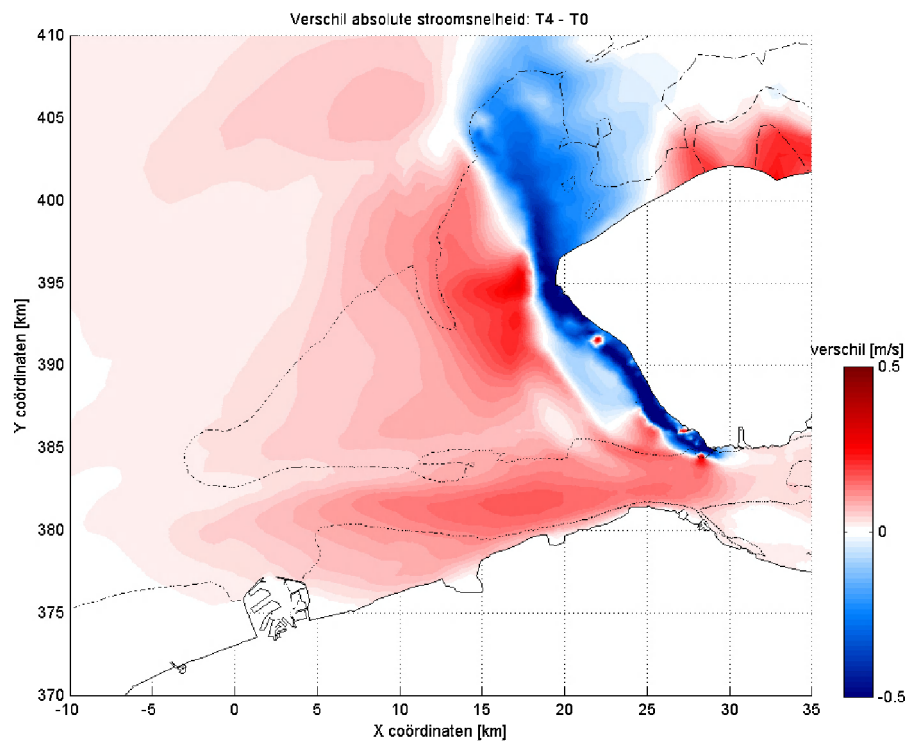
Figuur 6.3: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T4 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T4 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



Figuur 6.4: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0 \text{ m}$) en T4.



Figuur 6.5: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T4.



Figuur 6.6: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T4 bij maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T4 hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

RESULTATEN SCENARIO T5

De Wielingen is de hoofdvaargeul in de monding van de Westerschelde. De geul wordt regelmatig onderhouden om de navigatiediepte te garanderen. In scenario T5 zijn de diepere delen van de Wielingen opgevuld tot aan de onderhoudsdiepte van de vaargeul, NAP -17 m. Zie ook Figuur 7.1 en Tabel 7.1. De getijslag behorende bij scenario T5 en scenario T0 ter plaatse van de verschillende hoofdstations in het estuarium is gepresenteerd in Figuur 7.2. De ingreep heeft een verlaging van de getijslag tot gevolg, ondanks dat het verschil slechts 0,5 cm bedraagt. Het verschil in de getijslag tussen scenario T5 en scenario T0 blijft door de Westerschelde heen constant.

Tabel 7.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

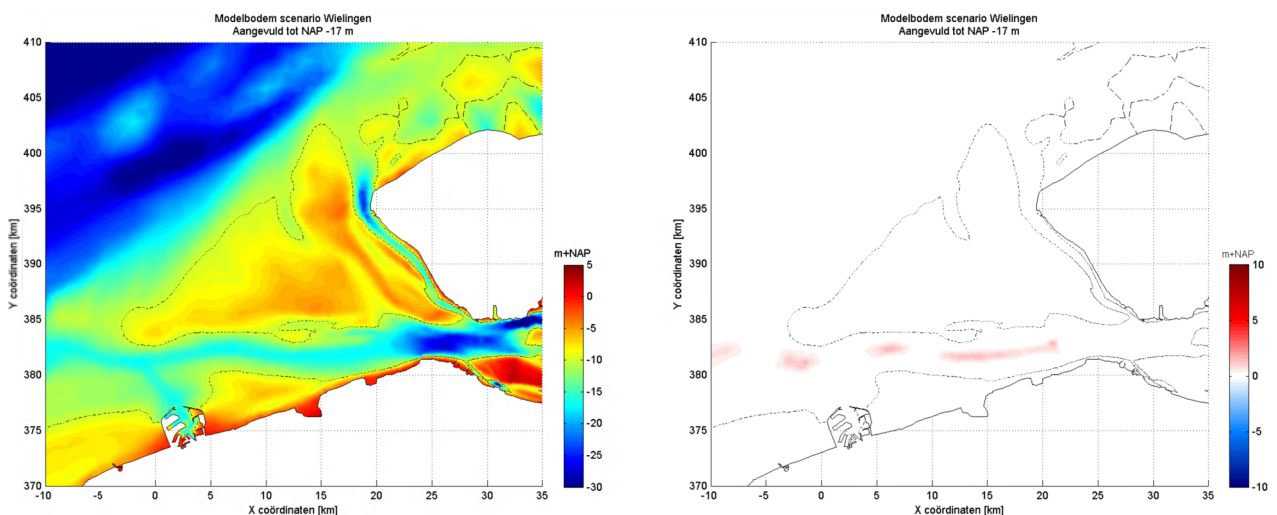
Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T5	Wielingen	Aanvullen tot NAP -17m	51 Mm ³

De fase ten opzichte van Vlissingen wordt voor beide scenario's gepresenteerd in Figuur 7.3. De ingreep heeft niet of nauwelijks invloed op de fase van het getij.

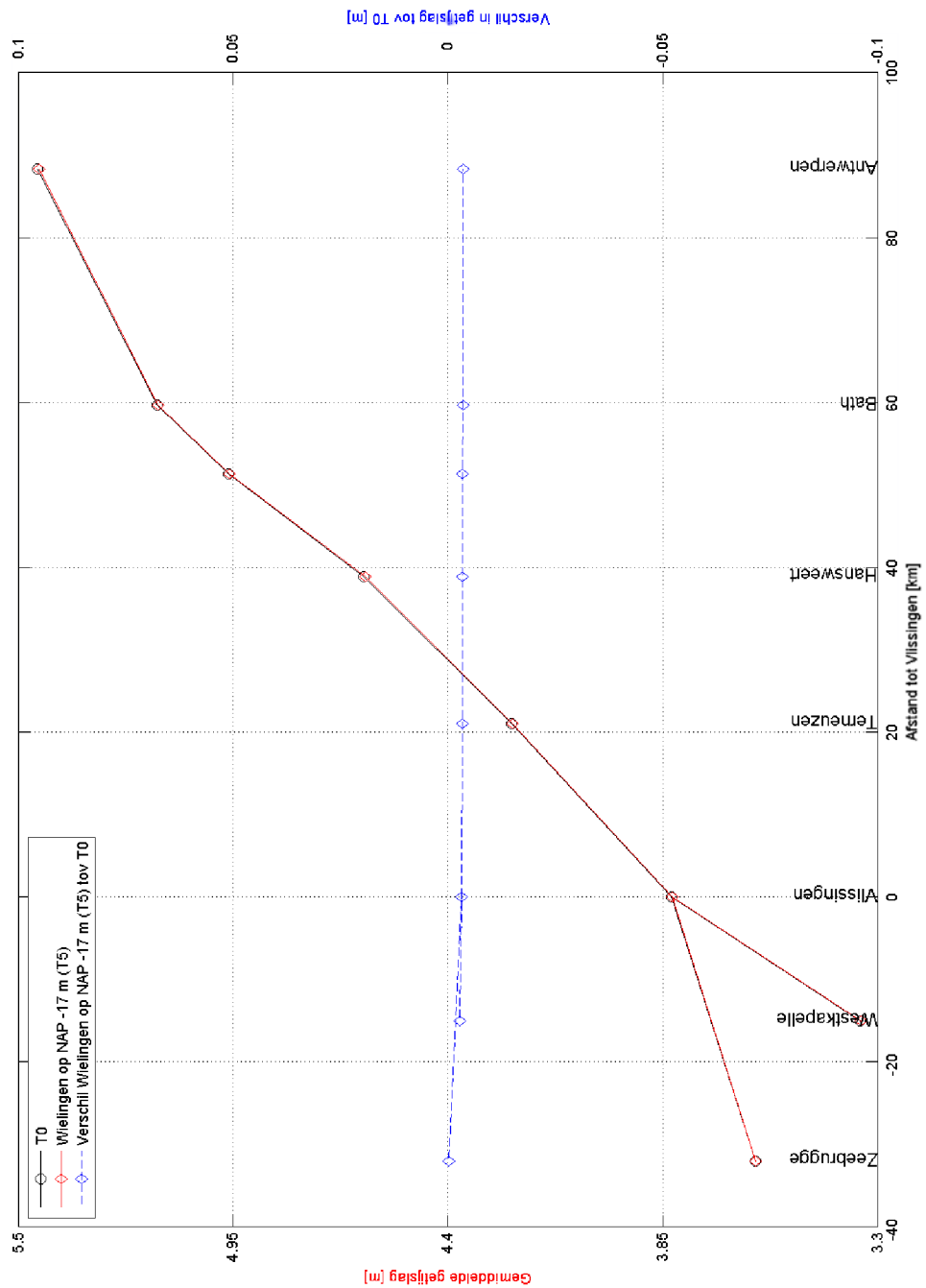
Het debiet door de Wielingen, het Oostgat en de Vlakte van de Raan wordt getoond in Figuur 7.4 en Figuur 7.5. Te zien is dat het debiet op alle locaties gelijk blijft.

Het verschil in stroomsnelheid van scenario T5 ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 7.6. Aangezien de ingreep geen faseverschuiving tot gevolg heeft, wordt in de figuur de stroomsnelheid op hetzelfde fasemoment vergeleken. Daar waar de diepte iets is verminderd, is een lichte toename van de stroomsnelheid zichtbaar. In de gebieden tussen de ophogingen neemt de stroomsnelheid iets af. De verschillen bedragen niet meer dan enkele cm/s.

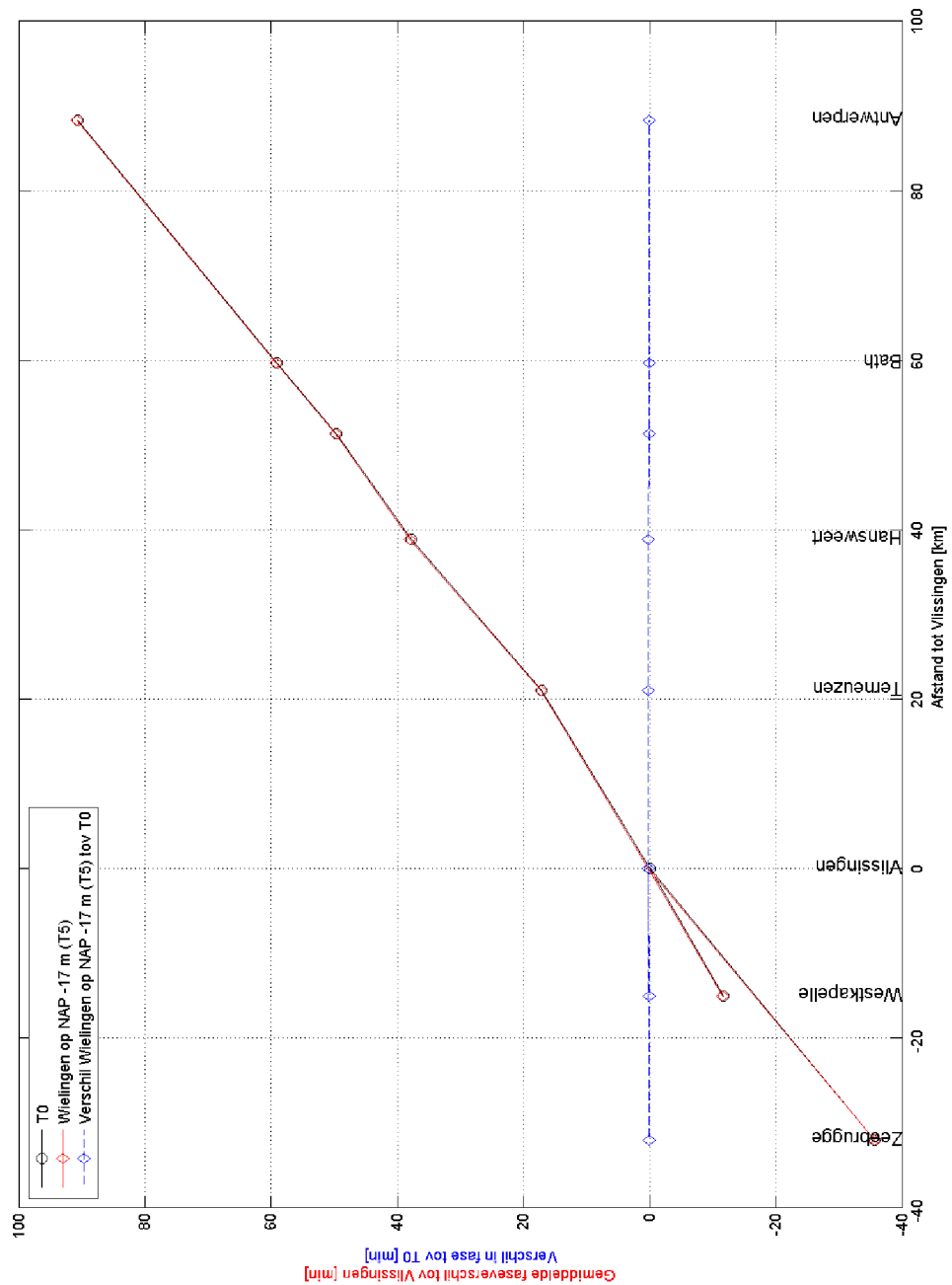
Zowel in scenario T3 als scenario T5 wordt de Wielingen verondiept, en in beide gevallen leidt dit tot een verlaging van de getijslag. De Wielingen is het mondingssysteem voornamelijk van belang voor de instroming van het getij.



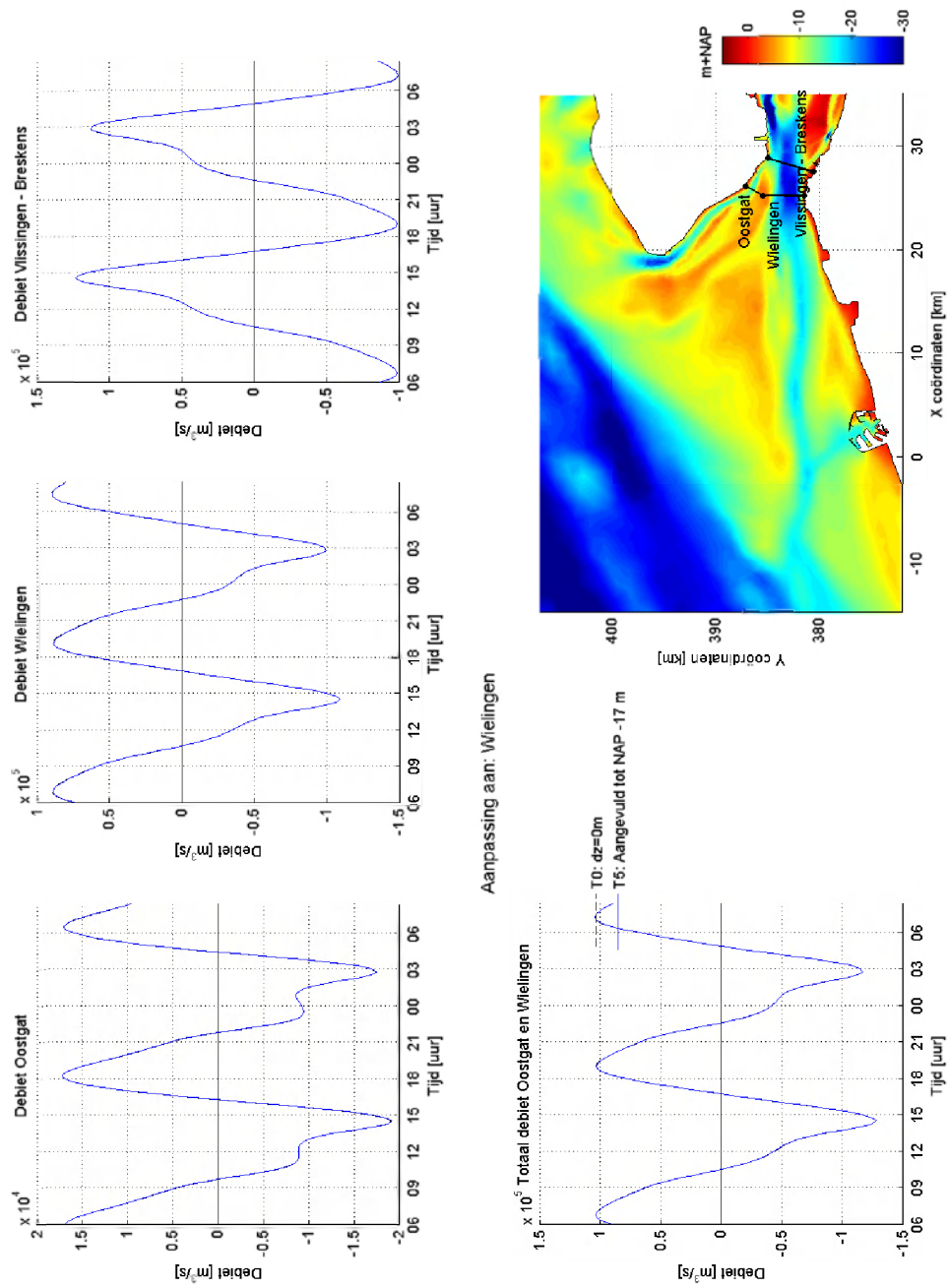
Figuur 7.1: Modelbodem voor scenario T5, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



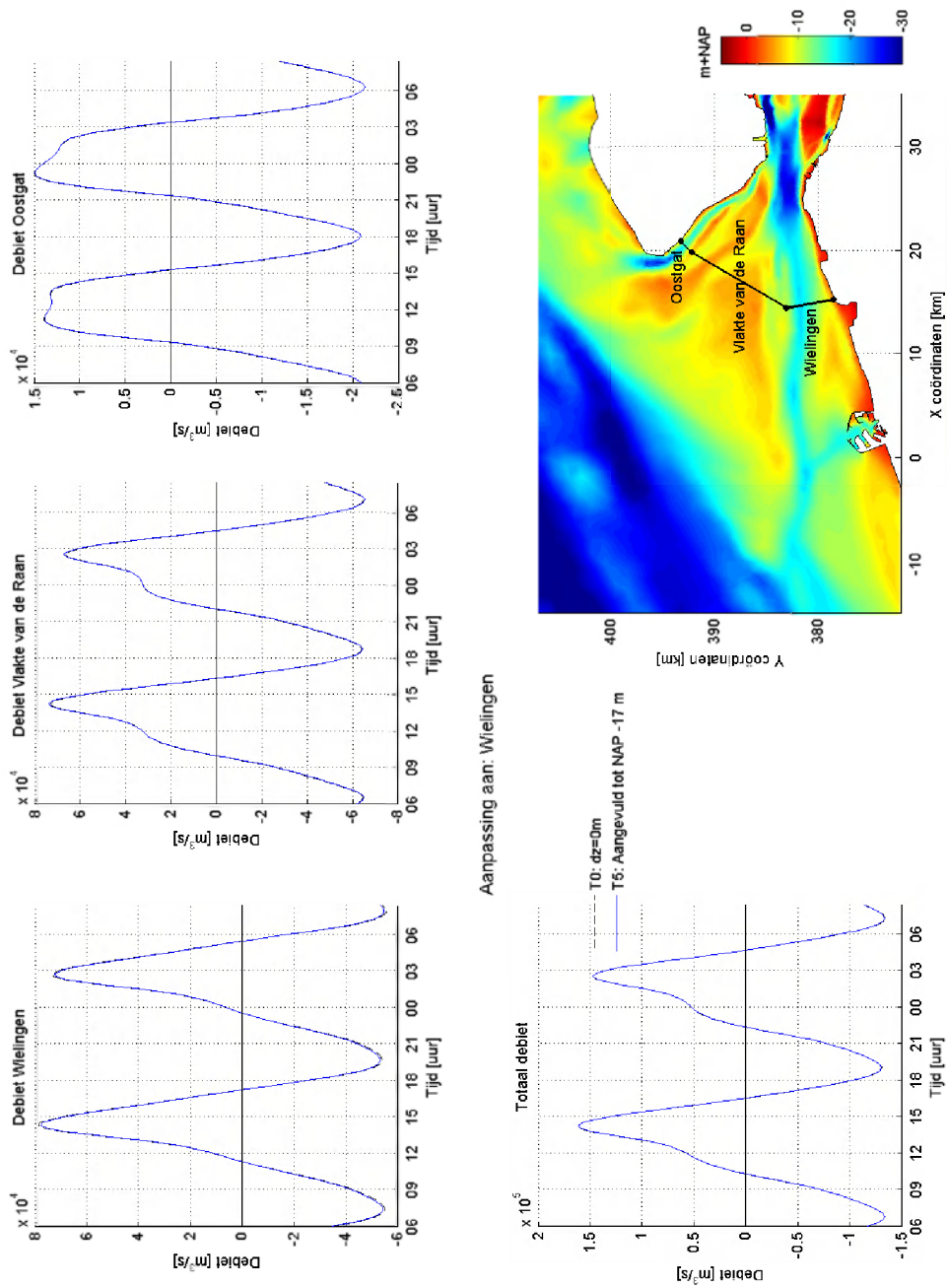
Figuur 7.2: Getijslag voor scenario T5 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T5 ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur weergegeven.



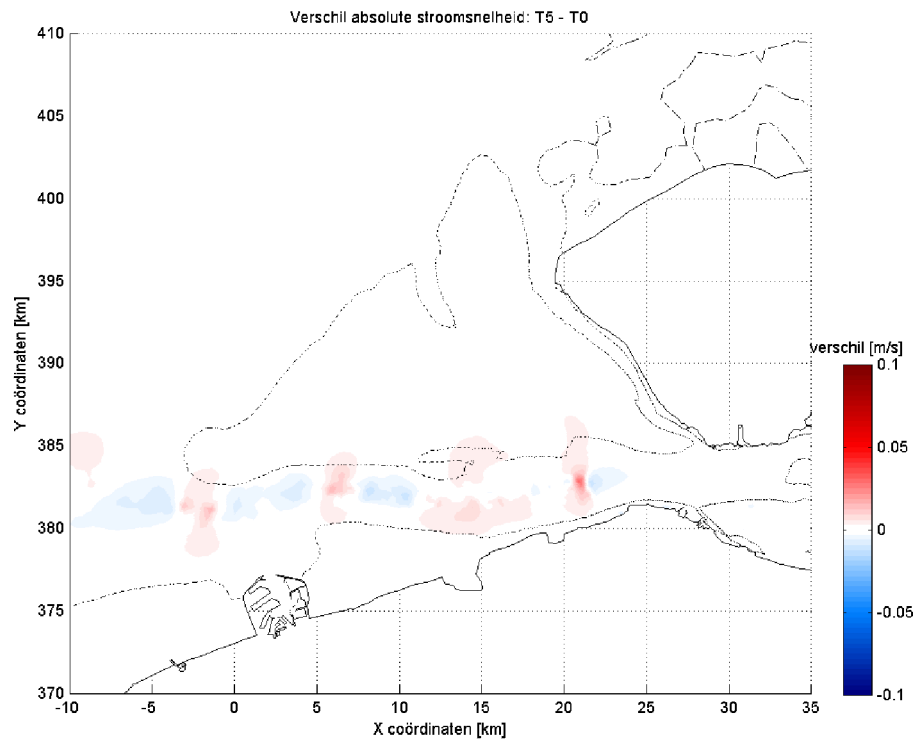
Figuur 7.3: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T5 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T5 ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur weergegeven.



Figuur 7.4: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0$ m) en T5.



Figuur 7.5: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T5.



Figuur 7.6: Vershil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T5 rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T5 hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

8 RESULTATEN SCENARIO T6

In scenario T6 is een ondiepte in de geul de Wielingen aangebracht. Voor scenario T6a bedraagt de hoogte van de ondiepte NAP -10 m (Figuur 8.1) en voor scenario T6b NAP -5 m (Figuur 8.2). De ingrepen worden samengevat in Tabel 8.1.

Tabel 8.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T6a	Wielingen	Blokkade tot NAP -10m	31 Mm ³
T6b	Wielingen	Blokkade tot NAP -5m	116 Mm ³

Figuur 8.3 geeft de getijslag bij de verschillende hoofdstations in de Westerschelde weer. Het verschil in getijslag tussen scenario T6a en T6b respectievelijk met scenario T0 is eveneens weergegeven. De figuur laat zien dat het (deels) blokkeren van de Wielingen een verlaging van de getijslag tot gevolg heeft. In scenario T6a bedraagt de verlaging van de waterstand ongeveer 1,5 cm. In scenario T6b varieert de verlaging van de waterstand door de Westerschelde heen tussen de 10 en 12 cm. Wanneer tijdseries van de waterstand op verschillende locaties in de Westerschelde beschouwd worden (niet getoond), blijkt dat de ingreep dusdanig is dat de vorm van de getijcurve enigszins veranderd is. De stelling dat het verschil in de getijslag constant is in de gehele Westerschelde gaat daardoor niet meer op.

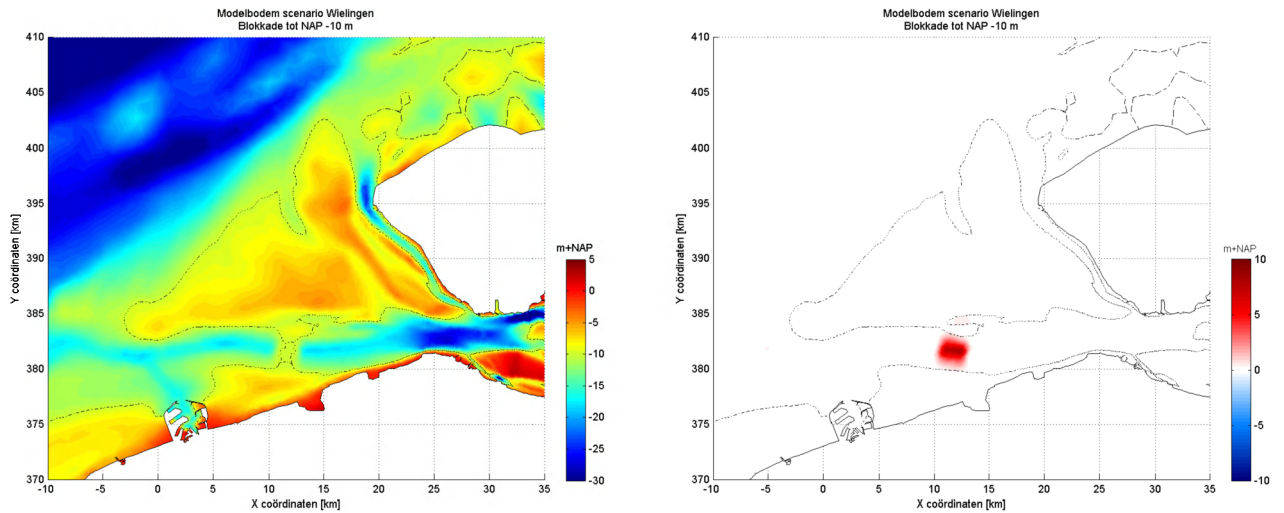
Het faseverschil ten opzichte van scenario T0 bij Vlissingen in minuten is voor scenario T6a en T6b weergegeven in Figuur 8.4. Ook het verschil met scenario T0 wordt in de figuur getoond. De ingreep heeft een vertraging van de getijgolf tot gevolg. De getijgolf wordt vertraagd door het wrijvingseffect die de ondiepte teweeg brengt. In tegenstelling tot het verschil in de getijslag, is het verschil in fase wel gelijk in de gehele Westerschelde. De faseverschuiving bedraagt minder dan een minuut voor scenario T6a en ongeveer 3 minuten voor scenario T6b.

Het debiet door de Wielingen, het Oostgat en de Vlakte van de Raan in de Wielingen wordt getoond in Figuur 8.5 en Figuur 8.6. Ook het totale debiet door de monding van de Westerschelde is weergegeven. Figuur 8.6 toont dat het debiet in de Wielingen voor zowel scenario T6a als T6b afneemt. De afname in scenario T6b is significant groter dan in scenario T6a. De afname van het debiet in de Wielingen wordt grotendeels gecompenseerd door een toename van het debiet over de Vlakte van de Raan. Het totale debiet door de monding neemt ietwat af als gevolg van de reductie van de getijslag in het estuarium.

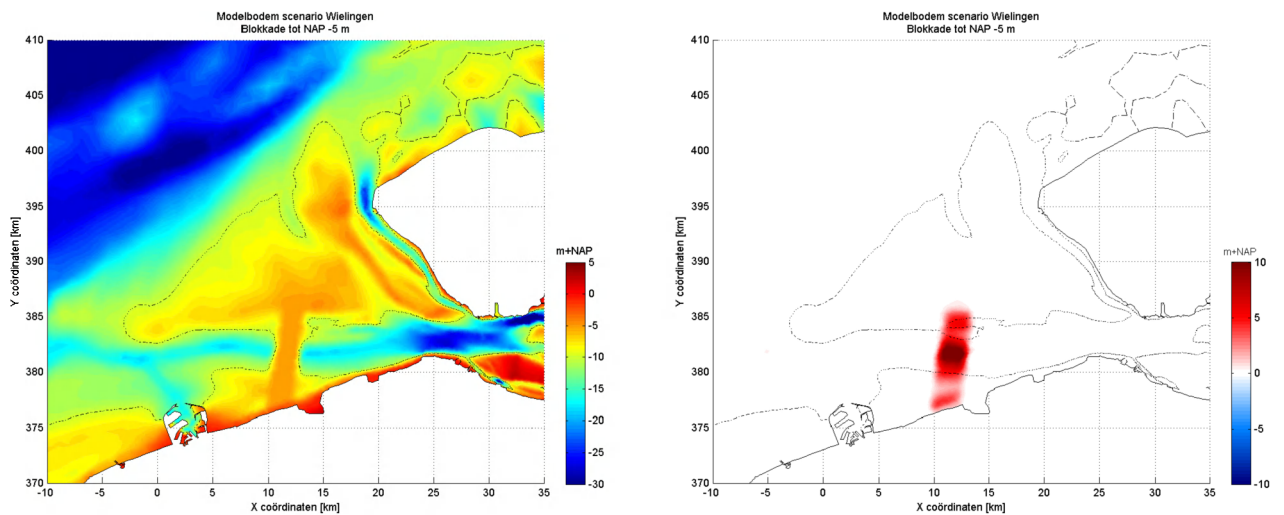
De ingreep in de monding beïnvloedt de stroomsnelheid in monding. Het verschil in stroomsnelheid van scenario T6a en T6b ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 8.7 en Figuur 8.8. De figuren presenteren het verschil in stroomsnelheid op hetzelfde tijdstip, en niet op hetzelfde fasemoment. Te zien is dat de stroomsnelheid over de ondiepte toeneemt, en vlak voor en vlak na de ondiepte afneemt. In scenario T6b is dit effect sterker en neemt de stroomsnelheid in de gehele Wielingen af. Op de Vlakte van de Raan en in het Oostgat is een toename van de stroomsnelheid zichtbaar. Tijdseries van de stroomsnelheid (niet getoond) wijzen echter uit dat deze toename voornamelijk veroorzaakt wordt door de faseverschillen. De stroomsnelheden in het Oostgat en de Vlakte van de Raan zijn ongeveer gelijk aan stroomsnelheden in scenario T0.

In scenario T3 is duidelijk geworden dat de Wielingen belangrijk is voor de instroming van het getij in de Westerschelde. Een verdieping leidt tot een verhoging van de getijslag. In scenario T6 is de Wielingen verondiept. Zowel in scenario T6a en T6b, treedt een verlaging van de getijslag op, waarmee wordt bevestigd dat de Wielingen inderdaad belangrijk voor de instroming is. Een toename

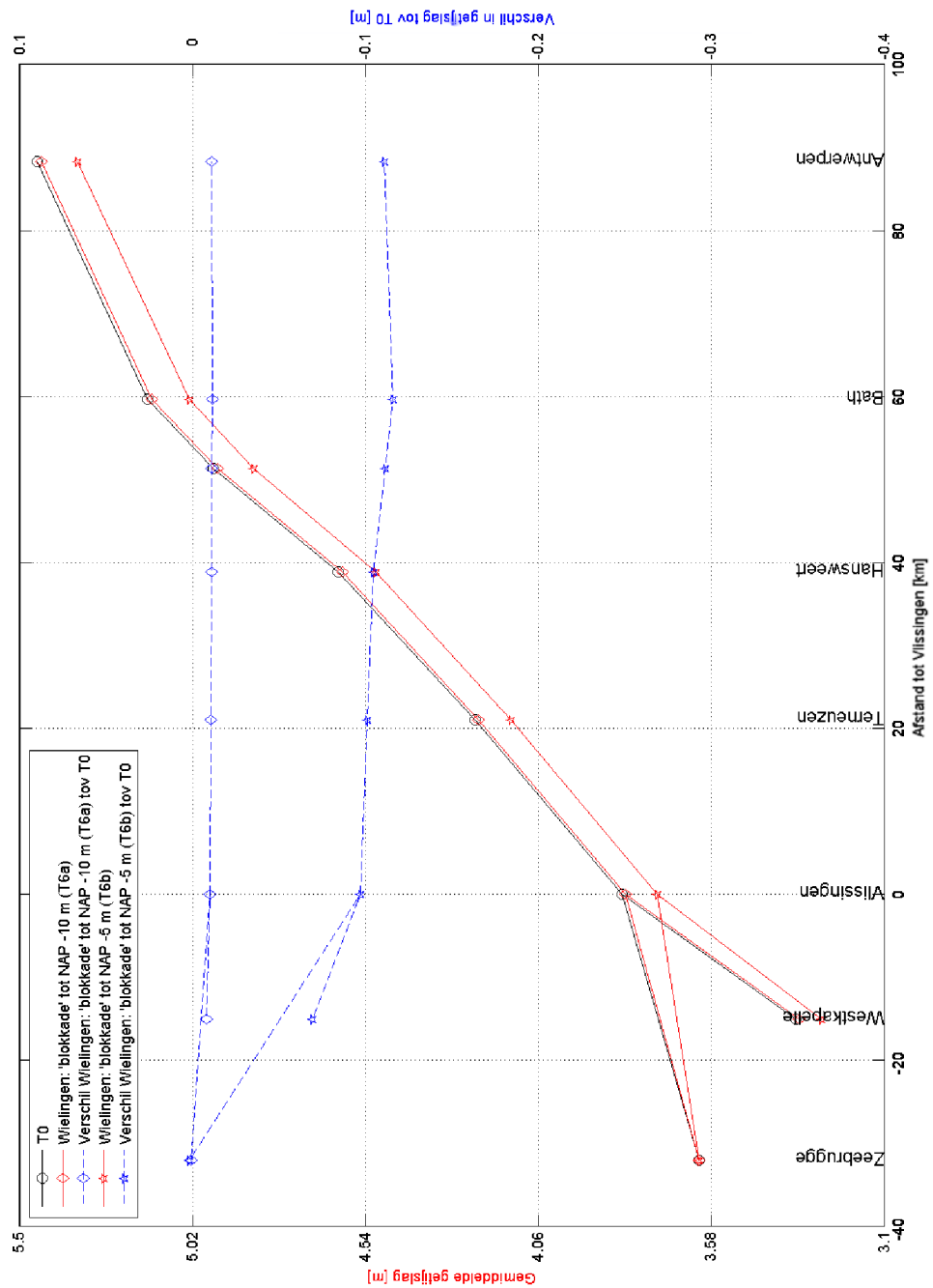
van de diepte leidt tot een toename van de getijslag, terwijl een afname van de diepte leidt tot een afname van de getijslag, zie ook Figuur 5.1.



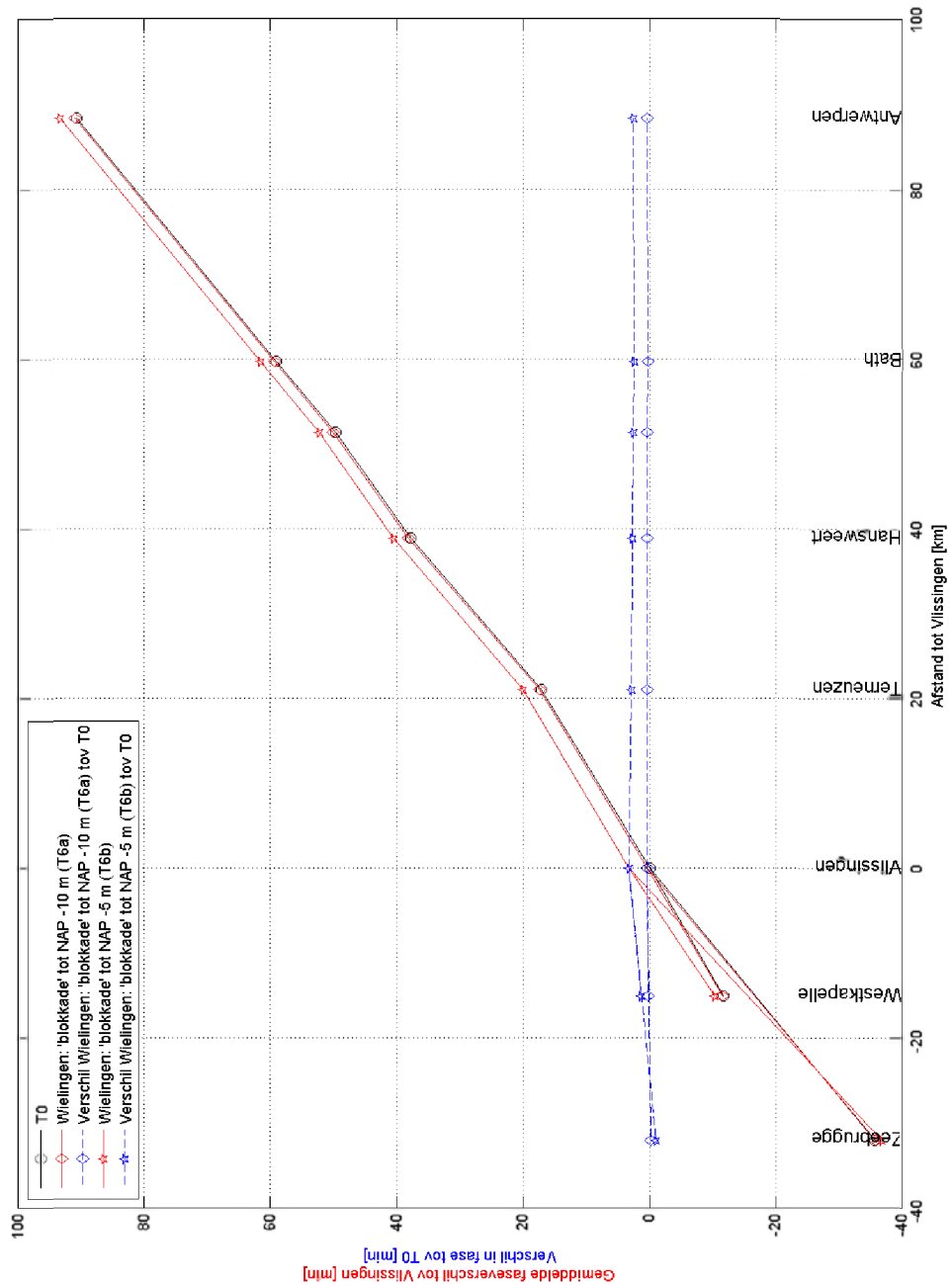
Figuur 8.1: Modelbodem voor scenario T6a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



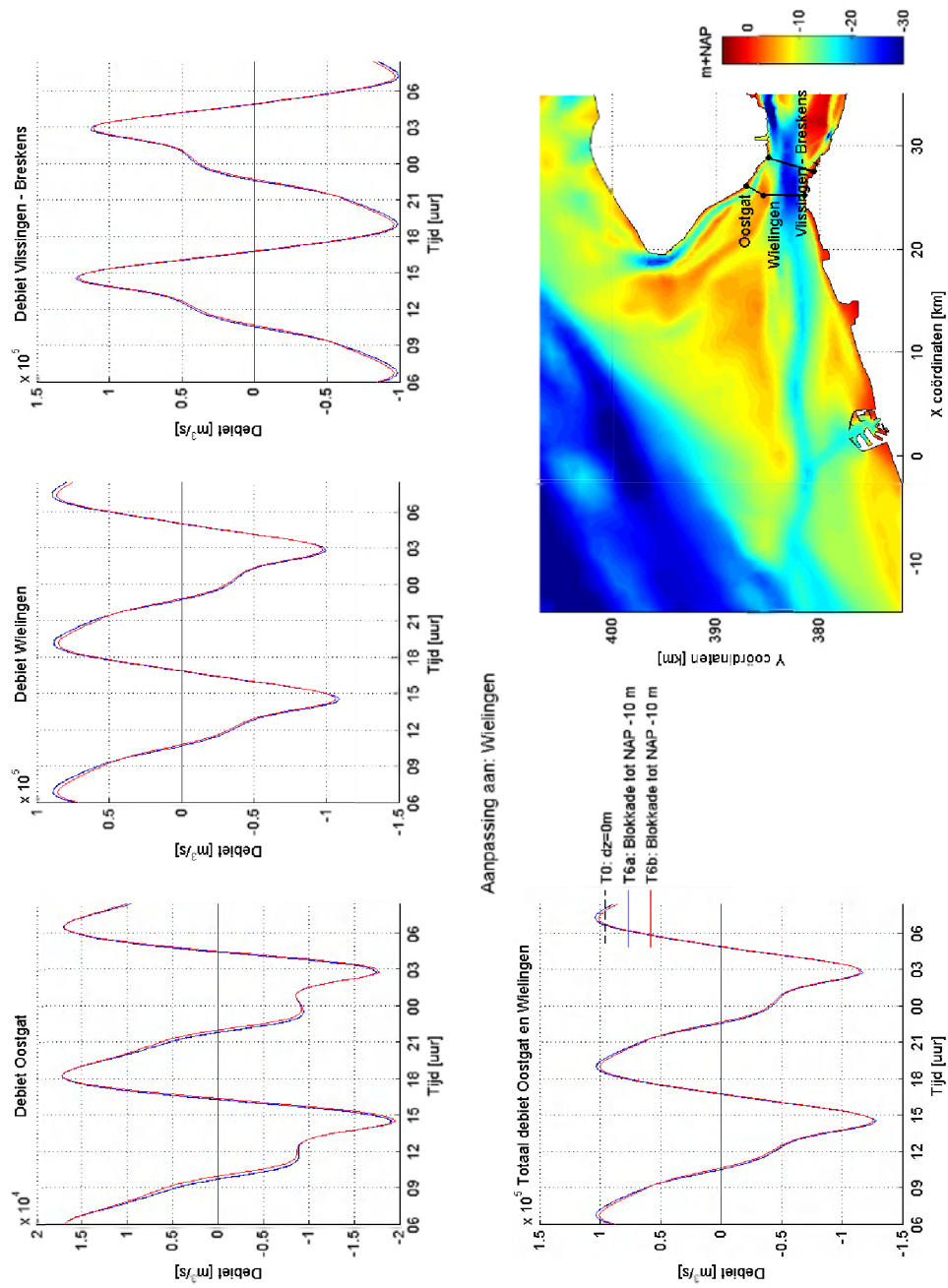
Figuur 8.2: Modelbodem voor scenario T6b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



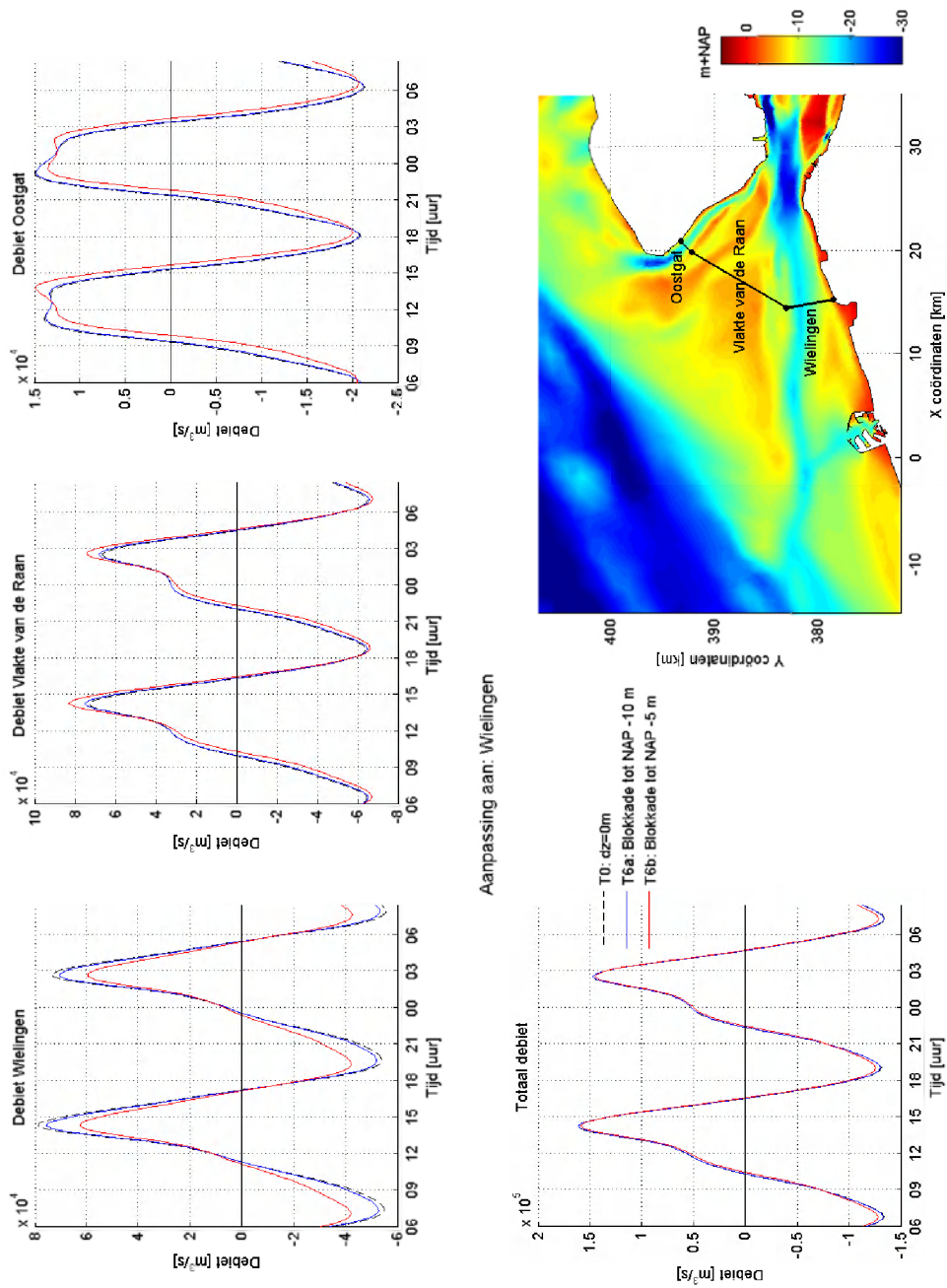
Figuur 8.3: Getijslag voor scenario T6 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T6 ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur weergegeven.



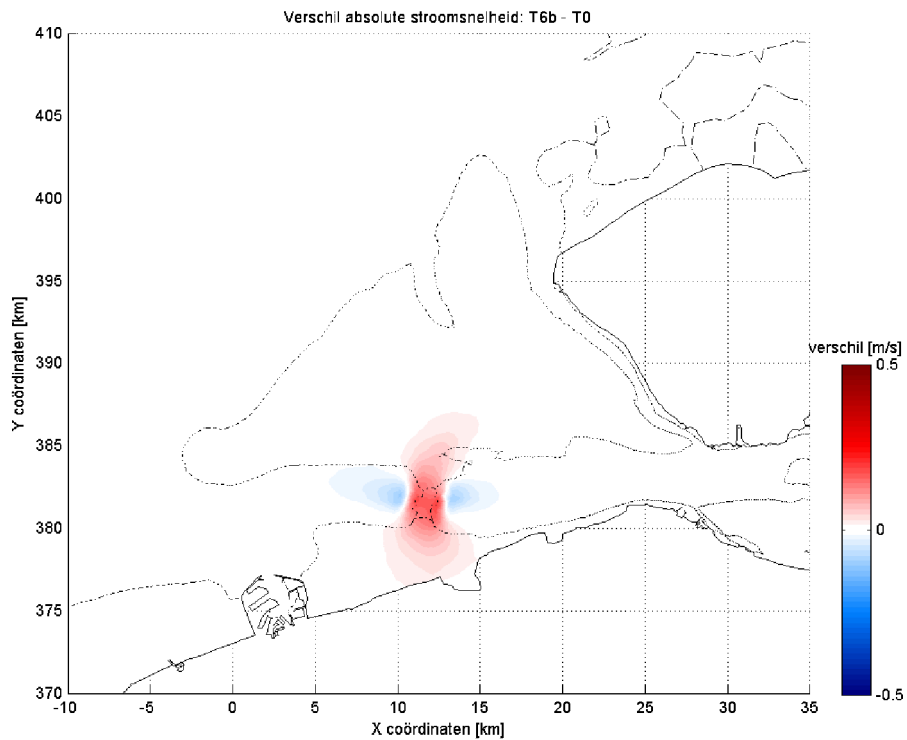
Figuur 8.4: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T6 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T6 ten opzichte van scenario T0 is eveneens in de figuur weergegeven.



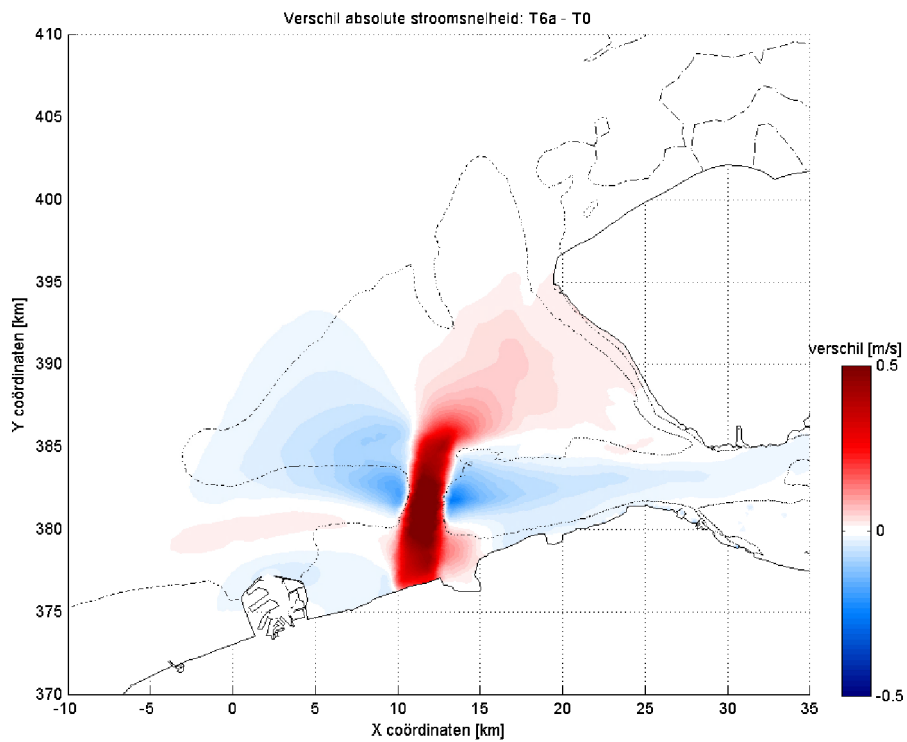
Figuur 8.5: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 (dz=0 m) en T6.



Figuur 8.6: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0\text{ m}$) en T6.



Figuur 8.7: Verskil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T6a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T6a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 8.8: Verskil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T6b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T6b hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

9 RESULTATEN SCENARIO T7

In scenario T7 worden in de gehele monding slechts twee dieptes toegepast: NAP -18 m en NAP -2 m. In scenario T7a (Figuur 9.2) wordt de diepte in de gehele monding gedefinieerd op NAP -18 m. In scenario T7b (Figuur 9.3) wordt de Wielingen en het gebied rondom de Wielingen op NAP -2 m gezet. Het overige deel van de monding heeft een diepte van NAP -18 m. In Tabel 9.1 worden de scenario's samengevat.

Tabel 9.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T7a	Gehele monding	NAP -18m	-4881 Mm ³
T7b	Gehele monding	Monding NAP -18m, Wielingen 'breed' NAP -2m	-1932 Mm ³

De getijslag in de Westerschelde behorende bij scenario T7a, T7b en T0 wordt gepresenteerd in Figuur 9.4, evenals het verschil tussen de getijslag in scenario T7a en T7b ten opzichte van scenario T0. De ingreep heeft een verlaging van de getijslag tot gevolg, behalve ter plaatse van Westkapelle. Bij Westkapelle is de bodem in de ingreep lokaal verhoogd (de diepte is verkleind). In hoofdstuk 3 is reeds gebleken dat het Oostgat voornamelijk de uitstroming van de getijgolf bevordert. Met de lokale verhoging wordt dit tegengewerkt, en neemt de getijslag wat toe.

In het overige deel van de stations is een afname van de getijslag waar te nemen. In het grootste deel van de Westerschelde is het verschil getijslag constant, behalve ter plaatse van Antwerpen. Doordat de geometrie van de monding drastisch is veranderd, heeft ook de getijcurve een andere vorm gekregen. De afname van de getijslag bedraagt 14 cm bij Vlissingen tot 17 cm bij Antwerpen voor scenario T7a, en 18 cm bij Vlissingen tot 17 cm bij Antwerpen voor scenario T7b.

Het verschil in fase ten opzicht van scenario T0 bij Vlissingen is voor scenario T7a, T7b en scenario T0 gepresenteerd in Figuur 9.5. Beide scenario's laten een versnelling van de getijvoortplanting ten opzichte van scenario T0 zien. Deze versnelling is constant in de Westerschelde zelf, en bedraagt ongeveer 15 minuten voor scenario T7a en ongeveer 8 minuten voor scenario T7b.

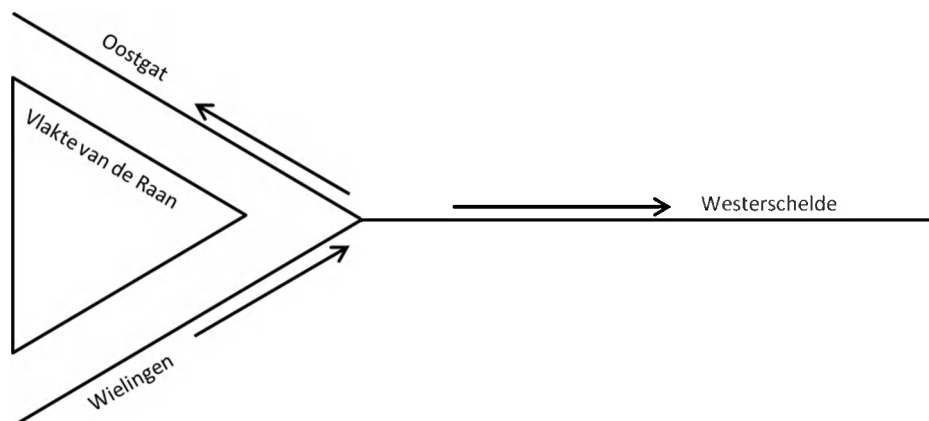
Bij Zeebrugge zijn duidelijke verschillen tussen de faseverschuiving van scenario T7a en T7b zichtbaar. Waar in scenario T7a een kleine versnelling zichtbaar is, levert scenario T7b juist een vertraging van ongeveer 8 minuten. Dit wordt veroorzaakt door het grote verschil in de ingreep in het zuidelijk deel van de monding. Waar in scenario T7a het gebied verdiept wordt, wordt dit in scenario T7b juist opgehoogd. De faseverschuiving in scenario T7a en T7b is beduidend groter dan in de hiervoor besproken scenario's T1 tot en met T6. Daar staat tegenover dat ook de ingreep in de monding beduidend groter is dan in voorgaande scenario's.

Het debiet door het Oostgat, de Wielingen, de Vlake van de Raan en de gehele monding van de Westerschelde wordt getoond in Figuur 9.6 en Figuur 9.7. Te zien is dat het totale debiet voor zowel scenario T7a als scenario T7b iets afneemt, wat overeenkomt met een verlaging van de getijslag. De debietverdeling over de verschillende delen van de monding verandert aanzienlijk in beide scenario's.

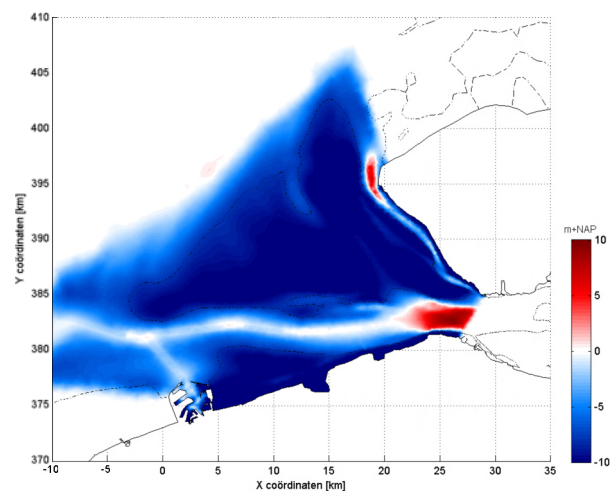
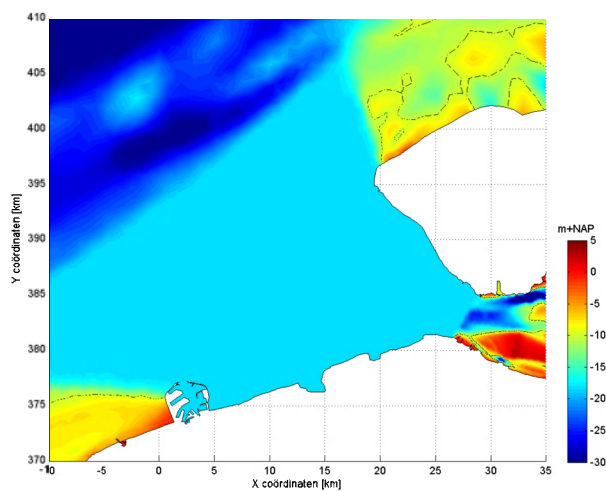
Het verschil in stroomsnelheid van scenario T7a en T7b ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 9.8 en Figuur 9.9. Ook hier geldt dat de stroomsnelheid op gelijk tijdstip is vergeleken, en niet op gelijk fasemoment. De vergelijking die in de figuren wordt gepresenteerd is daardoor verre van exact. Figuur 9.8 toont dat in scenario T7a de stroomsnelheid in vrijwel de gehele monding afneemt, doordat het doorstroomoppervlak in de monding sterk toeneemt. Dit blijkt

onafhankelijk van de faseverschuiving. De faseverschuiving heeft wel tot gevolg dat het verschil in stroomsnelheid te sterk of te zwak in de figuur wordt weergegeven, maar dit beïnvloedt de conclusie dat de stroomsnelheden afnemen niet. Opvallend is dat lokaal op de Vlake van de Raan een toename van de stroomsnelheid zichtbaar is. Deze toename zou door fase verschillen veroorzaakt kunnen worden. Figuur 9.9 toont vrijwel hetzelfde patroon als Figuur 9.8. Daarnaast is er in scenario T7b is ook een verhoging van de stroomsnelheid in de Wielingen zichtbaar, exact op de overgang tussen het diepe en ondiepe deel van de monding. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een te abrupte overgang in de modelbodem.

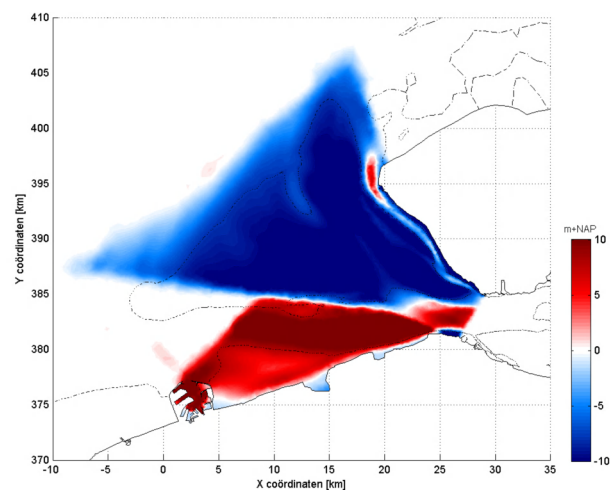
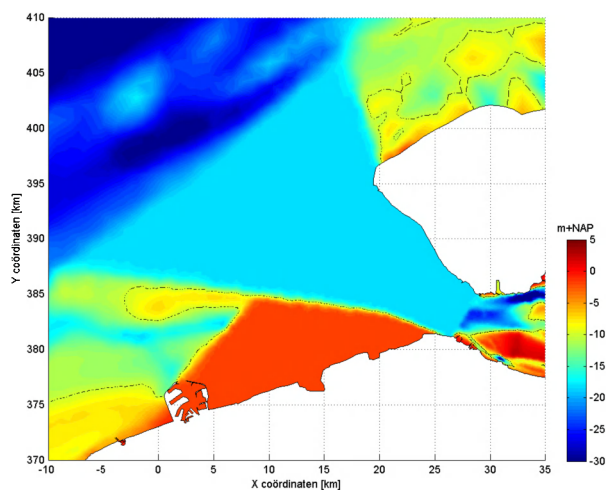
In de resultaten van de in dit hoofdstuk gepresenteerde scenario's is de werking van de drie eenheden wederom duidelijk herkenbaar. De Vlake van de Raan en het Oostgat zijn belangrijk voor de uitstroming, zie Figuur 9.1. Doordat beide morfologische eenheden in de twee scenario's verruimd zijn, wordt de uitstroming bevorderd en neemt de getijslag af. De Wielingen is daarentegen belangrijk voor de instroming. In scenario T7a zijn er twee tegenstrijdige effecten op de getijslag. Aan de ene kant worden de Vlake van de Raan en het Oostgat verdiept, wat een reductie van de getijslag oplevert. Aan de andere kant zorgt de verdieping van de Wielingen voor een toename van de getijslag. Aangezien de getijslag in scenario T7a reduceert, is het duidelijk dat de verdieping van de Vlake van de Raan en het Oostgat domineert ten opzichte van de verdieping van de Wielingen. In scenario T7b wordt de Wielingen verondiept in plaats van verdiept, en blijven de Vlake van de Raan en het Oostgat op een diepte van NAP -18 m. Dit resulteert in een lagere getijslag dan in scenario T7a het geval is. Dit toont nogmaals aan dat de Wielingen van belang is voor de instroming van het getij.



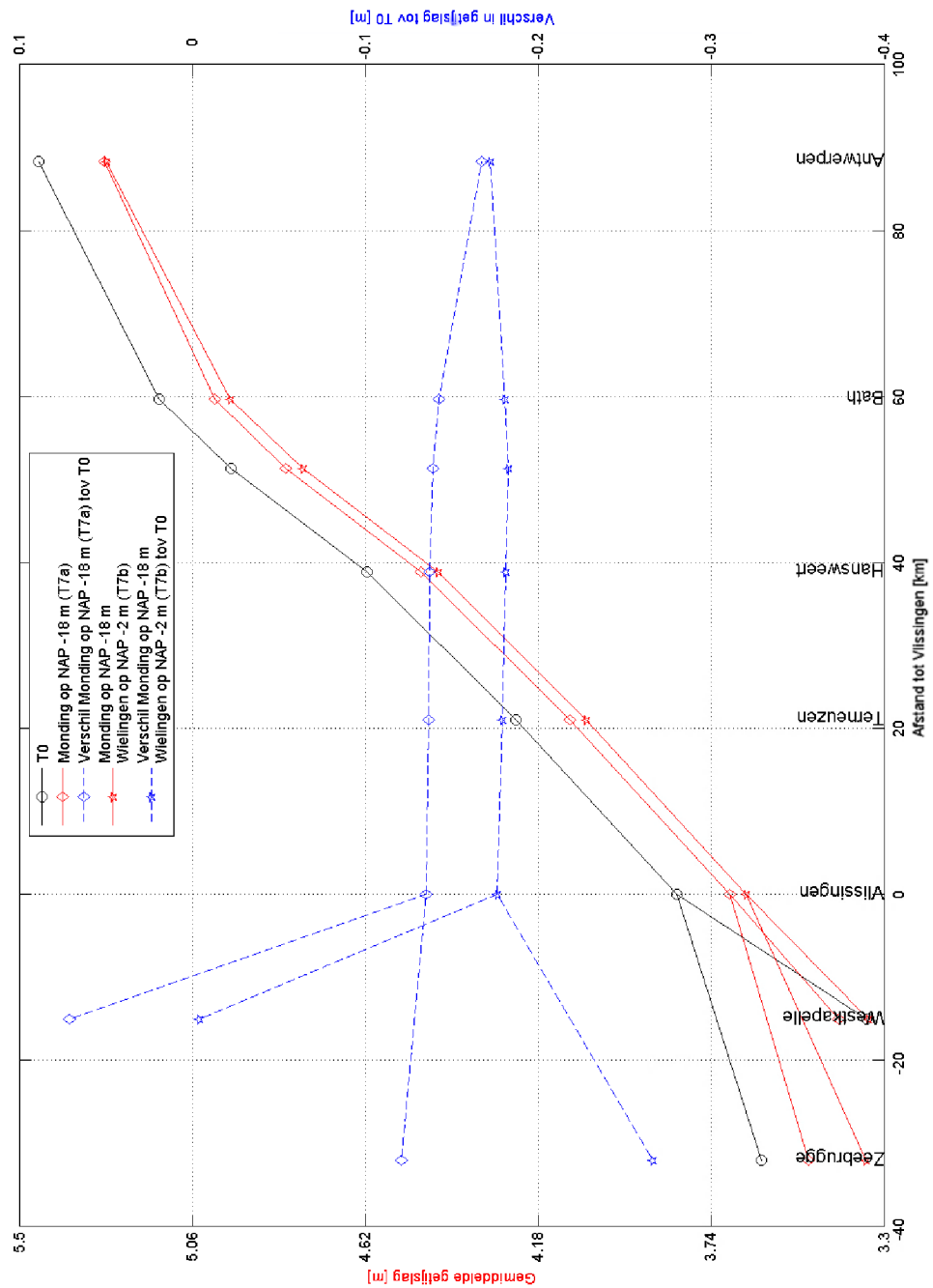
Figuur 9.1: Schematische weergave van de voortplanting van het getij in de Westerschelde.



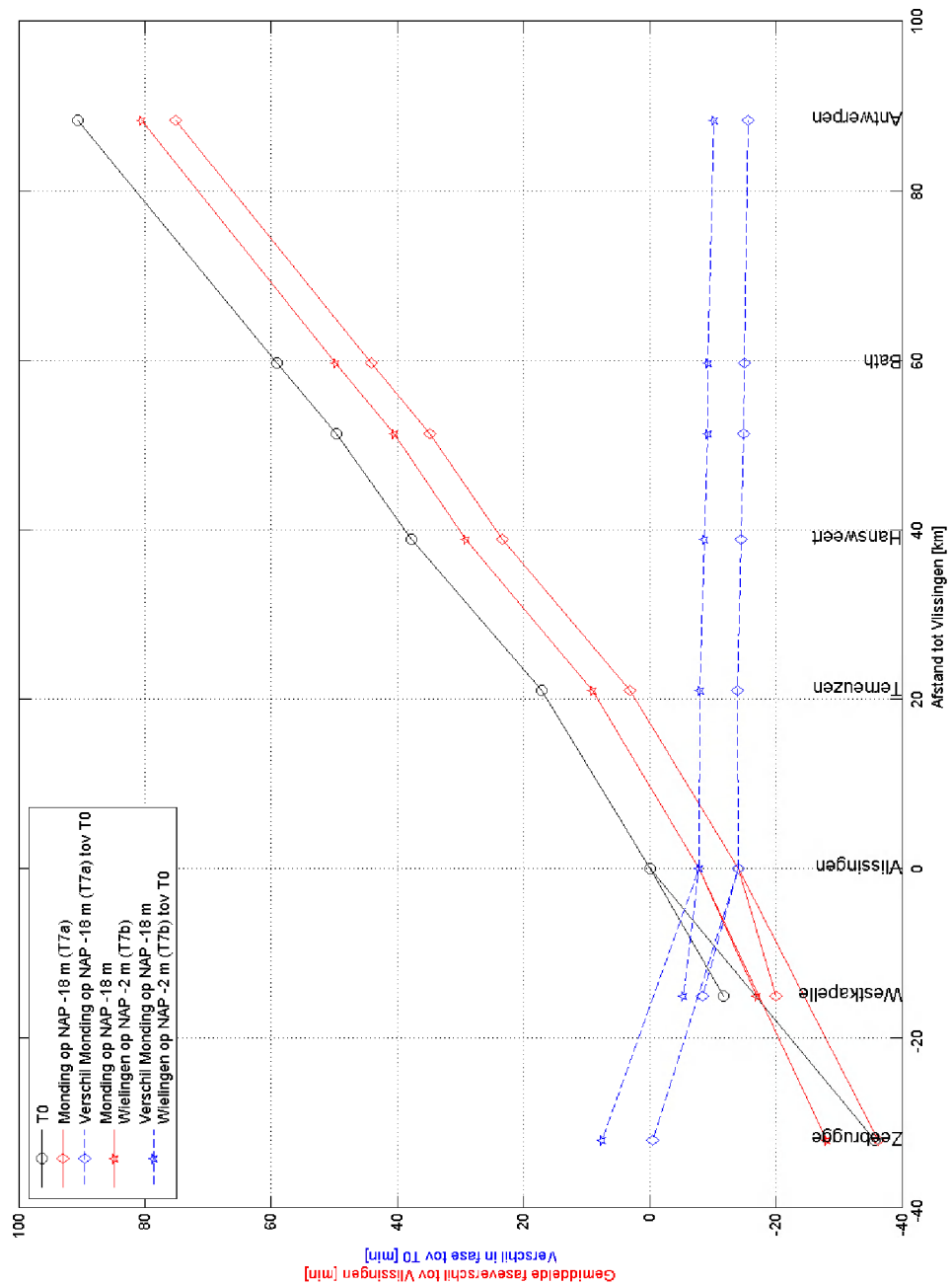
Figuur 9.2: Modelbodem voor scenario T7a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



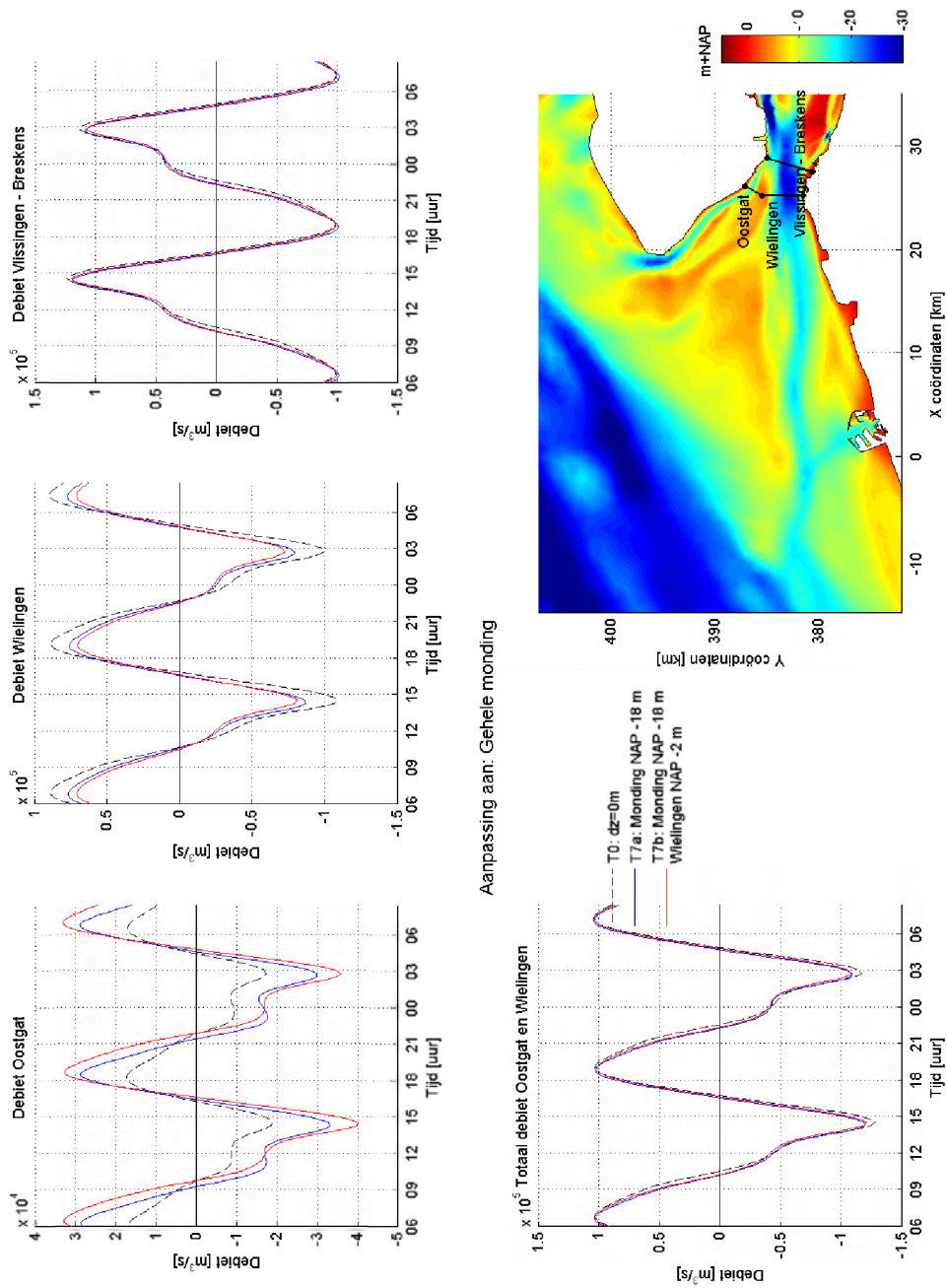
Figuur 9.3: Modelbodem voor scenario T7b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



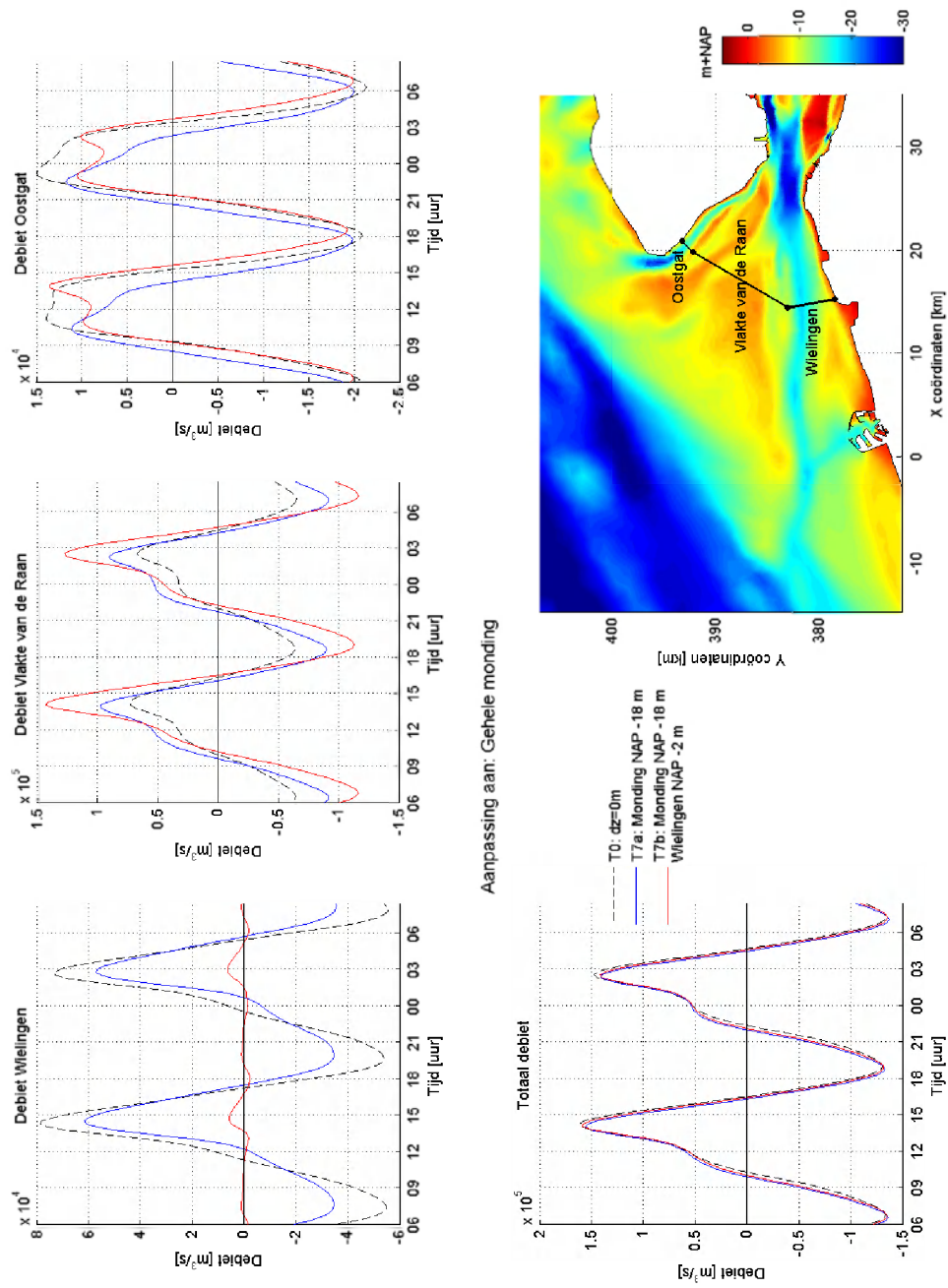
Figuur 9.4: Getijslag voor scenario T7 langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T7 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



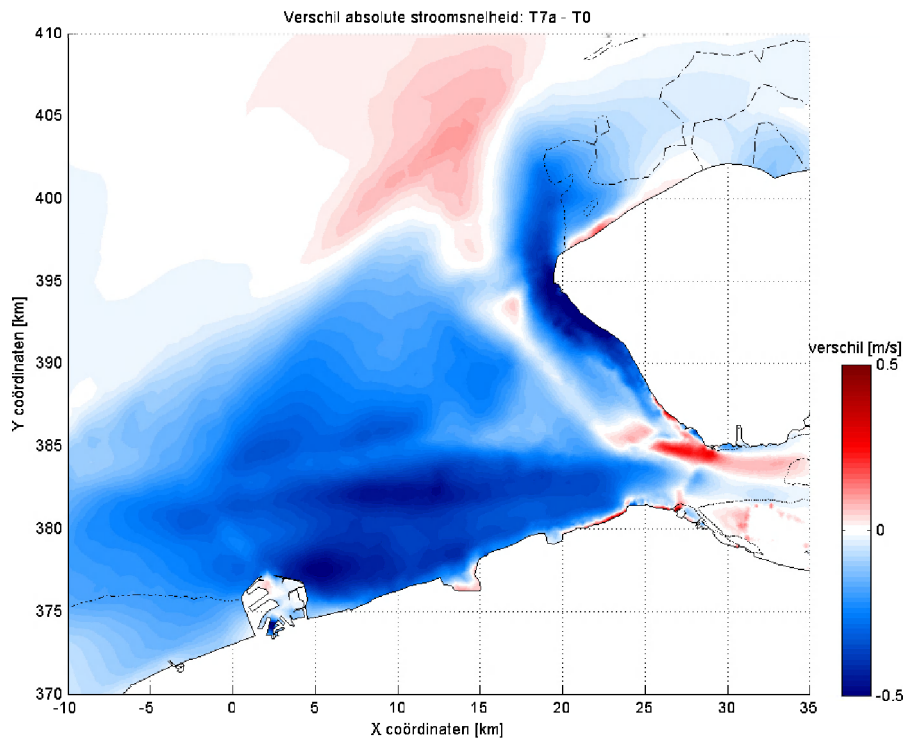
Figuur 9.5: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T7 langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T7 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



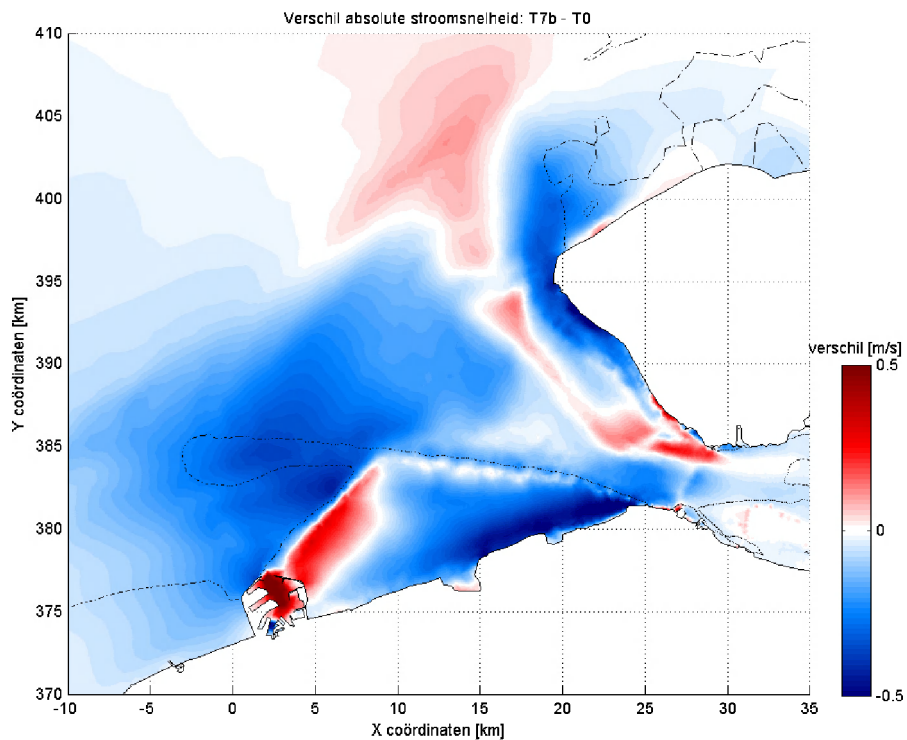
Figuur 9.6: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0$ m) en T7.



Figuur 9.7: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0$ m) en T7.



Figuur 9.8: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T7a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T7a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 9.9: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T7b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T7b hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

RESULTATEN SCENARIO T8

Ook in scenario T8 worden slechts twee dieptes toegepast: NAP -18 m en NAP -2 m. In scenario's T8a, T8b, en T8c wordt de gehele monding op NAP -2 m gezet. Een vaargeul van 500 m breed (ongeveer de breedte van de huidige vaargeul in de Wielingen), met een diepte van NAP -18 m wordt voor scenario T8a door het Oostgat (Figuur 10.1), voor scenario T8b door de Wielingen (Figuur 10.2) en voor scenario T8c door de Vlakte van de Raan (Figuur 10.3) aangebracht. In scenario T8d (Figuur 10.4) worden scenario T8a en T8c gecombineerd, en zijn dus zowel een vaargeul door het Oostgat als door de Wielingen aanwezig. Scenario T8e (Figuur 10.5) is vergelijkbaar met scenario T8b, echter is de vaargeul nu 2000 m breed. Een overzicht van de scenario's wordt gegeven in Tabel 10.1.

Tabel 10.1: Aanpassingen ten opzichte van de basismodelbodem voor de verschillende scenario's.

Scenario	Gebied	Bodem aanpassing	Volume
T0	N.v.t.	N.v.t.	0 Mm ³
T8a	Oostgat	Monding NAP -2m, Oostgat 'smal' NAP -18m	1924 Mm ³
T8b	Vlakte van de Raan	Monding NAP -2m, Vlakte van de Raan 'smal' NAP -18m	1884 Mm ³
T8c	Wielingen	Monding NAP -2m, Wielingen 'smal' NAP -18m	1862 Mm ³
T8d	Oostgat en Wielingen	Monding NAP -2m, Wielingen en Oostgat 'smal' NAP -18m	1666 Mm ³
T8e	Vlakte van de Raan	Monding NAP -2m, Wielingen 'breed' NAP -18m	1361 Mm ³

De getijslag ter plaatse van de hoofdstations in de Westerschelde is voor scenario T8a, T8b en T8c weergegeven in Figuur 10.6, en voor scenario T8d en T8e in Figuur 10.8. Het verschil in getijslag ten opzicht van scenario T0 is eveneens in beide figuren weergegeven. De grootste afname van de getijslag vindt in de monding plaats. De getijslag is bij Vlissingen voor de drie scenario's ongeveer 2,8 meter afgenomen voor zowel scenario T8a, T8b en T8c. In de Westerschelde neemt de getijslag nog verder af, veroorzaakt door een verandering in de vorm van de getijcurve. In totaal wordt een afname van 4,7 meter bij Antwerpen bereikt.

Scenario T8d en T8e leveren ook een forse reductie van de getijslag (Figuur 10.8), echter minder sterk dan in het geval van scenario T8a, T8b en T8c. Bij scenario T8d neemt de getijslag in de monding ongeveer 1,7 meter af, en bij Bath ongeveer 2,9 meter. Bij Antwerpen is de getijslag weer iets toegenomen; de reductie bedraagt echter nog 2,8 meter. In scenario T8e is de afname van de getijslag beduidend minder, met een afname van 0,7 meter bij Vlissingen tot een afname van 0,9 meter bij Antwerpen.

Het gemiddelde faseverschil in de getijvoortplanting in minuten ten opzichte van scenario T0 bij Vlissingen wordt gepresenteerd in Figuur 10.7 en Figuur 10.9, net als het verschil met scenario T0. De ontwikkeling van de fase van scenario T8a, T8b en T8c zijn nagenoeg gelijk. De ingreep zorgt voor een flinke vertraging van de getijvoortplanting. Bij Vlissingen bedraagt deze vertraging ongeveer 140 minuten, om door de Westerschelde heen af te nemen naar een vertraging van ongeveer 95 minuten.

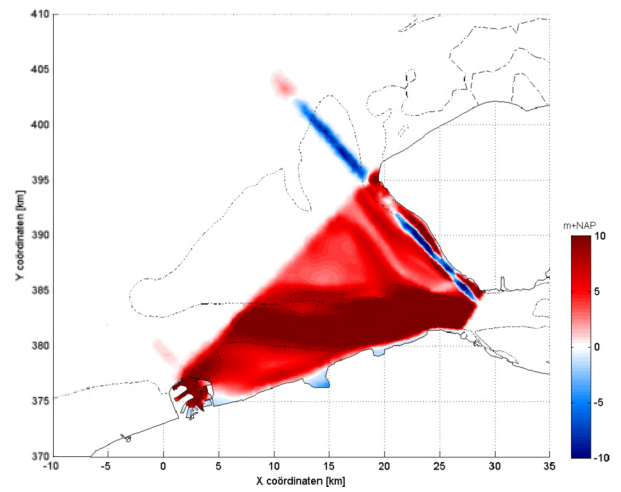
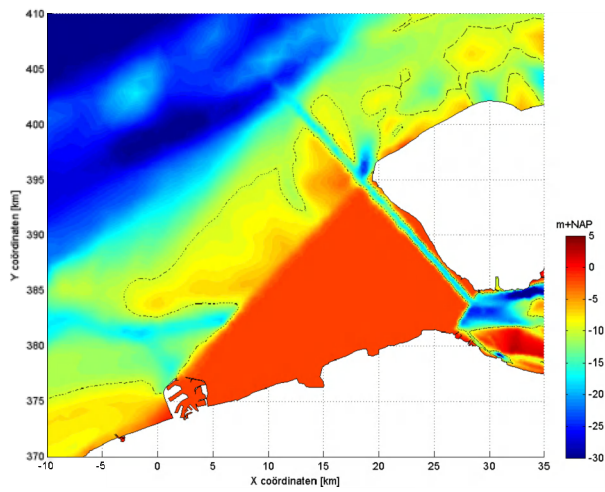
Scenario T8d en T8e vertonen een soortgelijk patroon, echter met kleinere verschillen ten opzichte van scenario T0. Bij Vlissingen bedraagt de vertraging 60 en 105 minuten respectievelijk. Bij Antwerpen is dat afgenomen naar een vertraging van 80 en 50 minuten respectievelijk. De

faseverschuiving in scenario T8a tot en met T8e is wederom beduidend groter dan in alle voorgaande scenario's het geval is. Ten opzichte van de voorgaande scenario's is echter ook de ingreep in de monding ingrijpender.

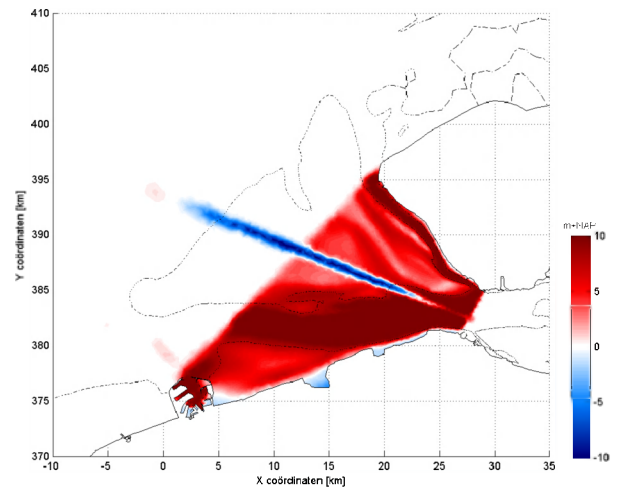
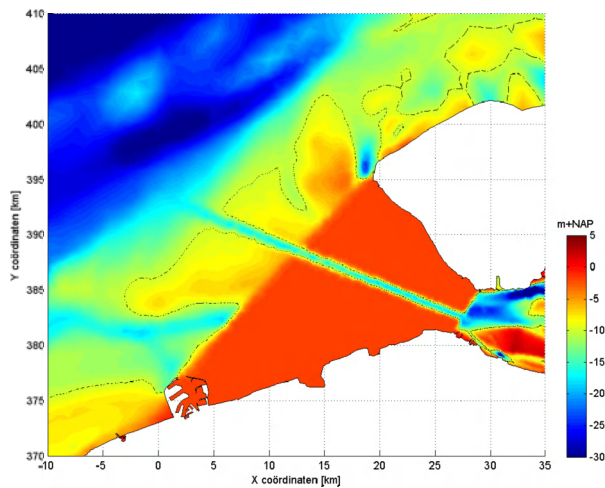
Het debiet wordt voor verschillende locaties in de Westerschelde wordt getoond in Figuur 10.10 en Figuur 10.11. Te zien is dat het totale debiet voor alle scenario's afneemt. De afname is het sterkst bij scenario T8a, T8b en T8c, waarbij ook de grootste reductie in de getijslag optreedt. De debieten door de verschillende delen van de monding veranderen aanzienlijk in alle scenario's, en elk scenario leidt tot een verschillende verdeling van het totale gebied over de drie onderdelen. Dit is logisch gezien het feit dat de locatie van de geul in de verschillende scenario's ook sterk over de monding varieert.

Het verschil in stroomsnelheid van scenario T8a, T8b, T8c, T8d en T5c ten opzichte van scenario T0 is gepresenteerd in Figuur 10.12, Figuur 10.13, Figuur 10.14, Figuur 10.15 en Figuur 10.16. De figuren presteren het verschil in stroomsnelheid op hetzelfde tijdstip, en niet of hetzelfde fase moment. Gezien de grote faseverschillen, dienen conclusies getrokken aan de hand van deze figuren met voorzichtigheid behandeld te worden. Gezien de grote afname van de getijslag en het debiet, is een afname van de stroomsnelheid realistisch. Ook de snelheidstoename die in scenario T8e in de vaargeul door de Vlake van de Raan zichtbaar is, is reëel, daar er een relatief groot debiet door een kleine opening gaat.

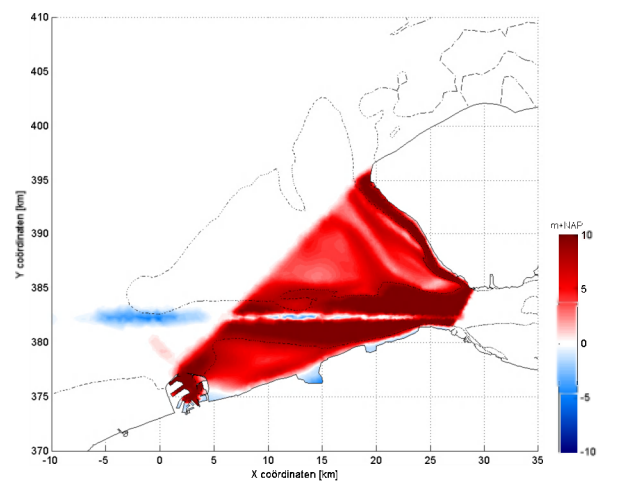
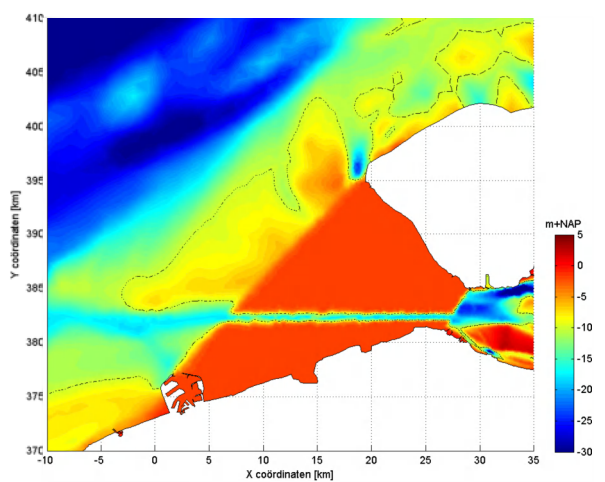
In de T8 scenario's lijkt niet zozeer van belang te zijn of een bepaald gebied belangrijk is voor de instroming of uitstroming, maar is het doorstroomoppervlak van de geul maatgevend. Wanneer het doorstroomoppervlak wordt vergroot, zoals met een factor 2 in scenario T8d en met een factor 4 in scenario T8e, is de reductie van de getijslag veel kleiner. In scenario T8e, waar de geul 2000 m breed is, is de getijslag slechts 20 cm lager dan in scenario T7a, waar de gehele monding een diepte van NAP -18 m heeft.



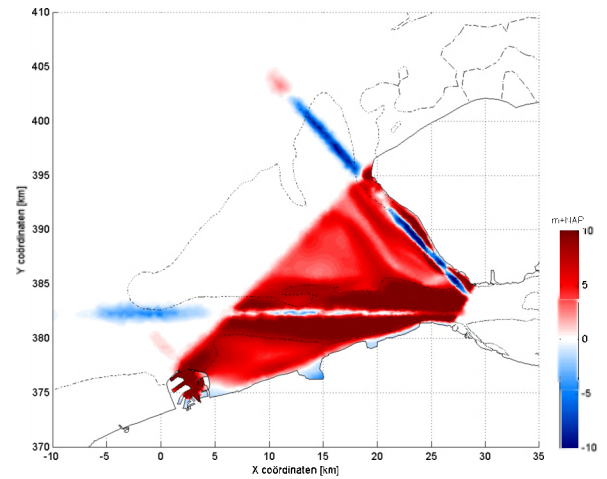
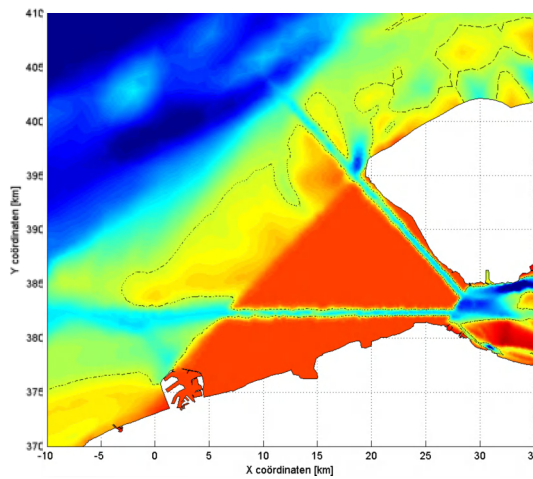
Figuur 10.1: Modelbodem voor scenario T8a, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



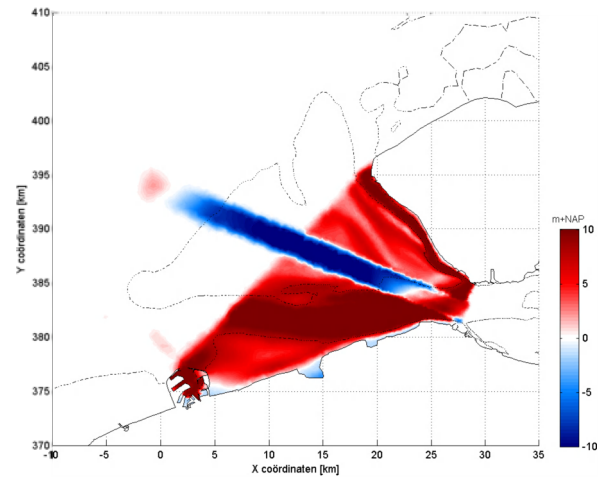
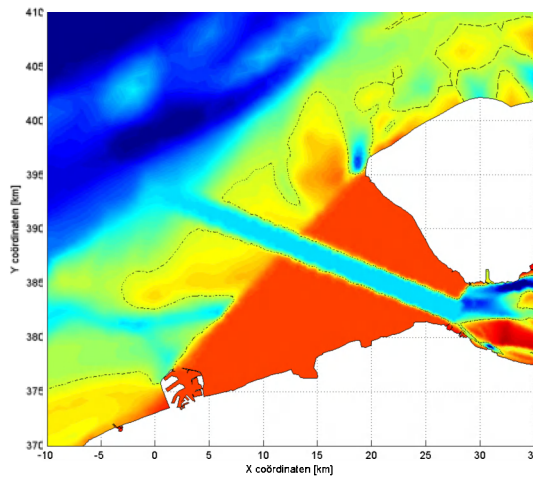
Figuur 10.2: Modelbodem voor scenario T8b, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



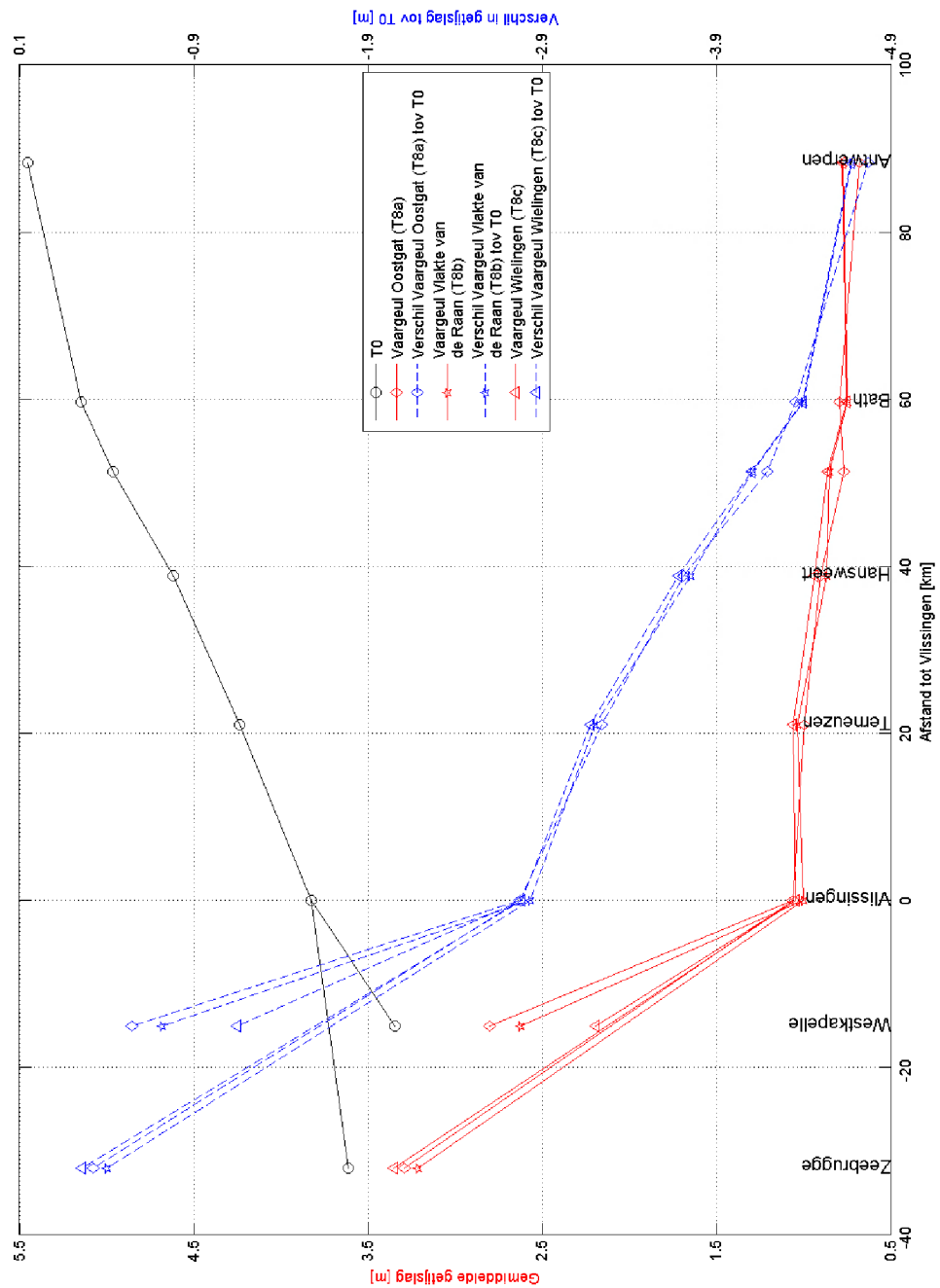
Figuur 10.3: Modelbodem voor scenario T8c, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



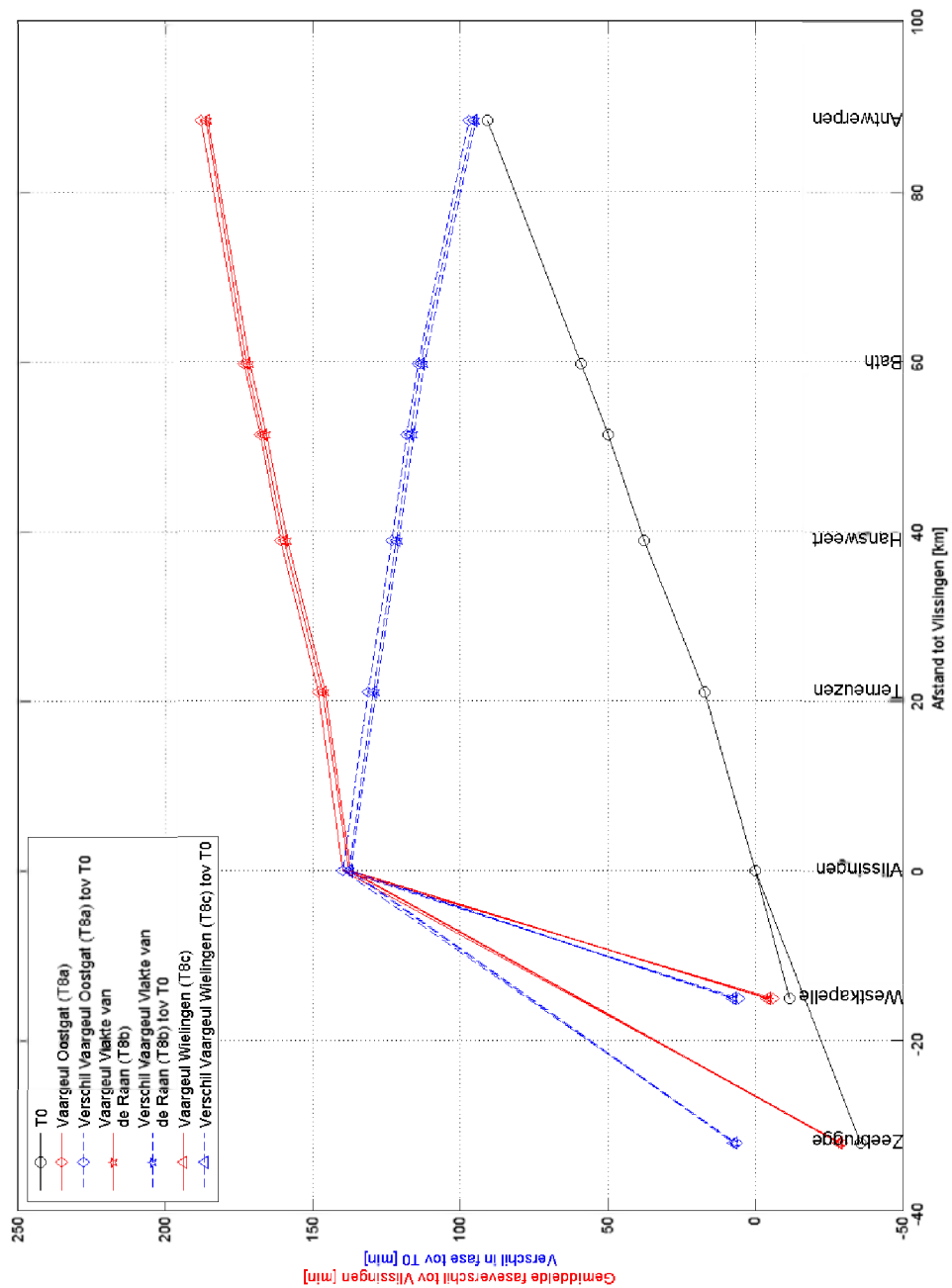
Figuur 10.4: Modelbodem voor scenario T8d, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



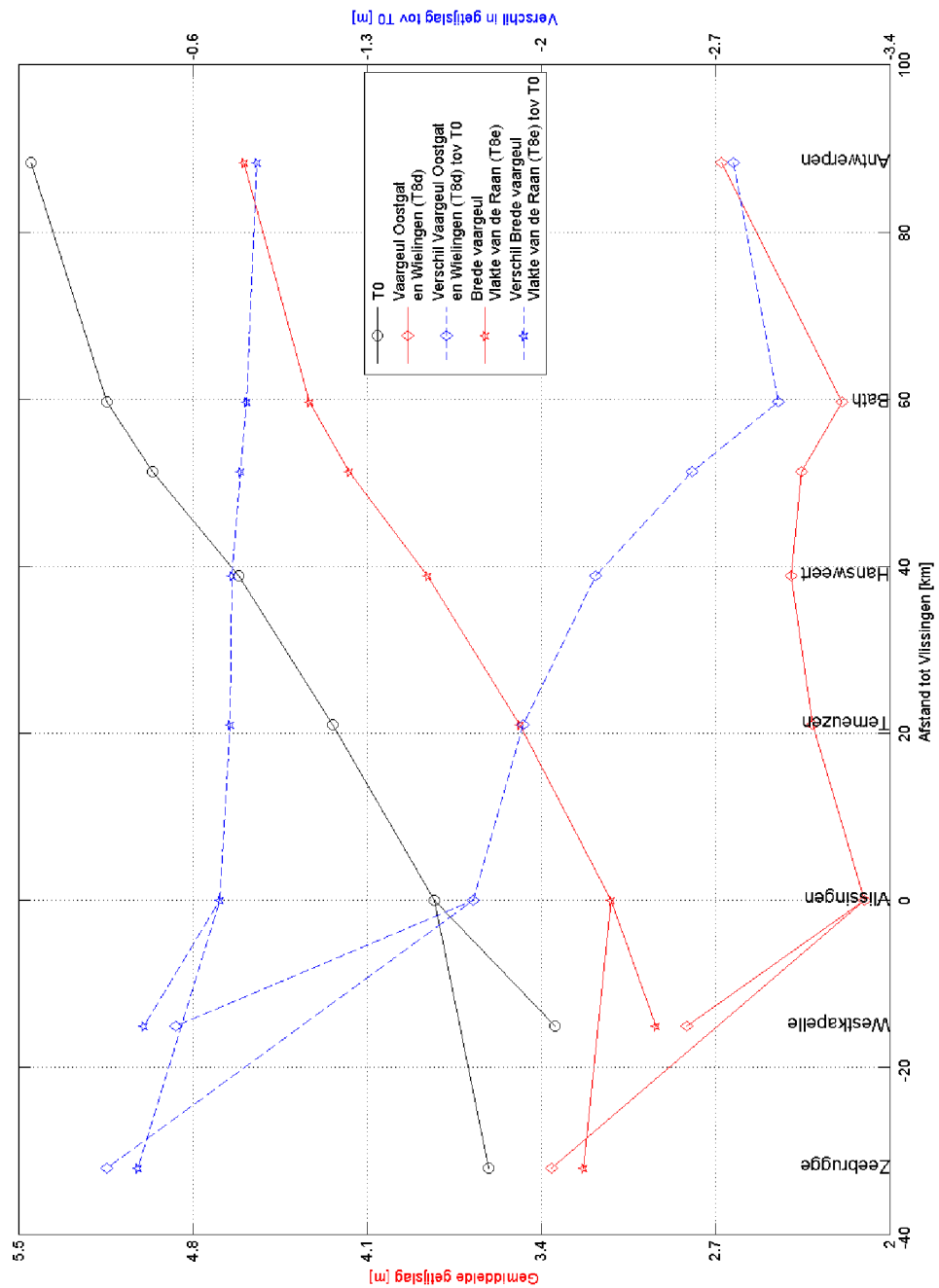
Figuur 10.5: Modelbodem voor scenario T8e, en het verschil met de modelbodem van scenario T0.



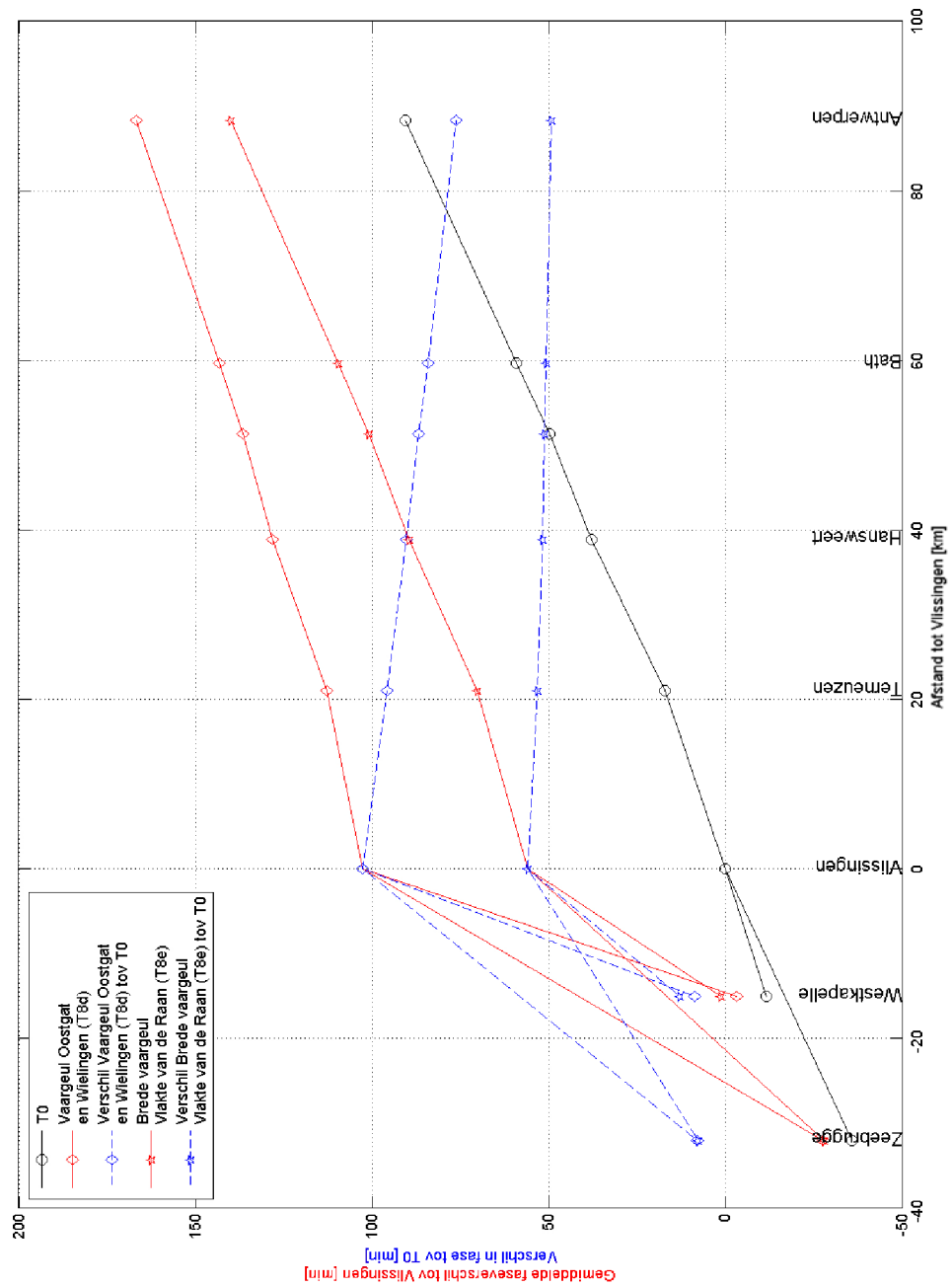
Figuur 10.6: Getijslag voor scenario T8 (deel 1) langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T8 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



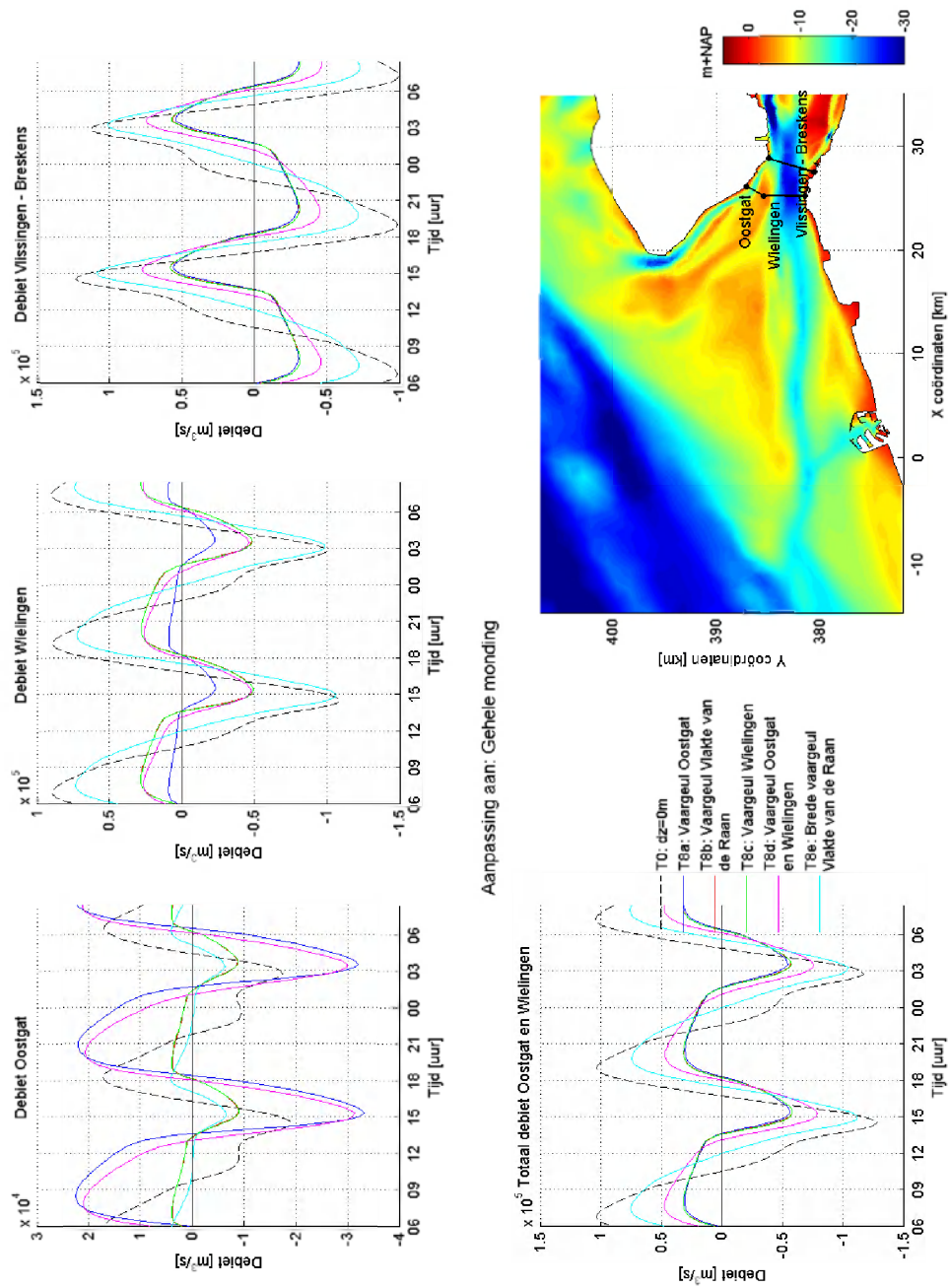
Figuur 10.7: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T8 (deel 1) langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T8 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



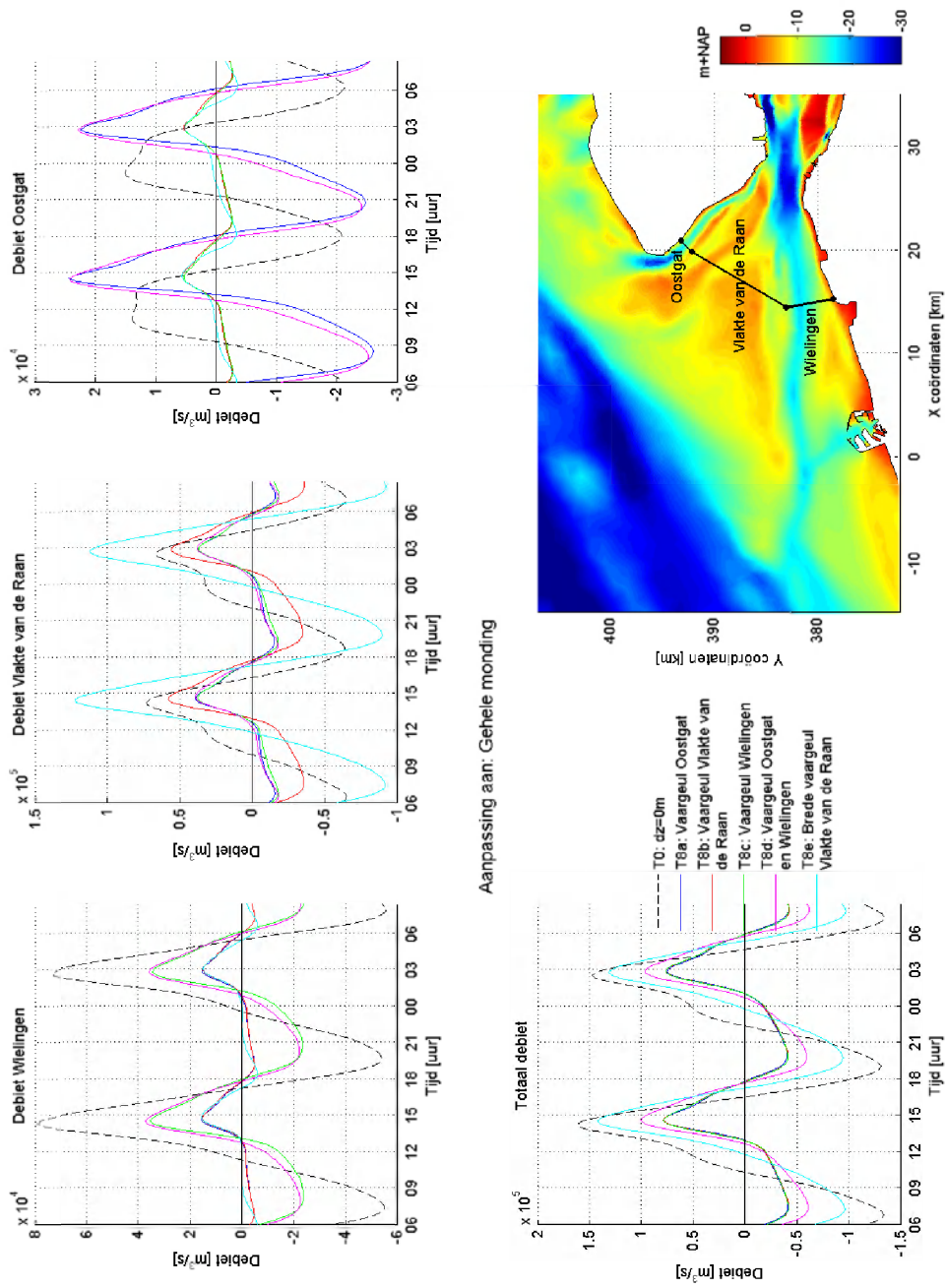
Figuur 10.8: Getijslag voor scenario T8 (deel 2) langs de hoofdstations in de Westerschelde. Scenario T0 en het verschil van scenario T8 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



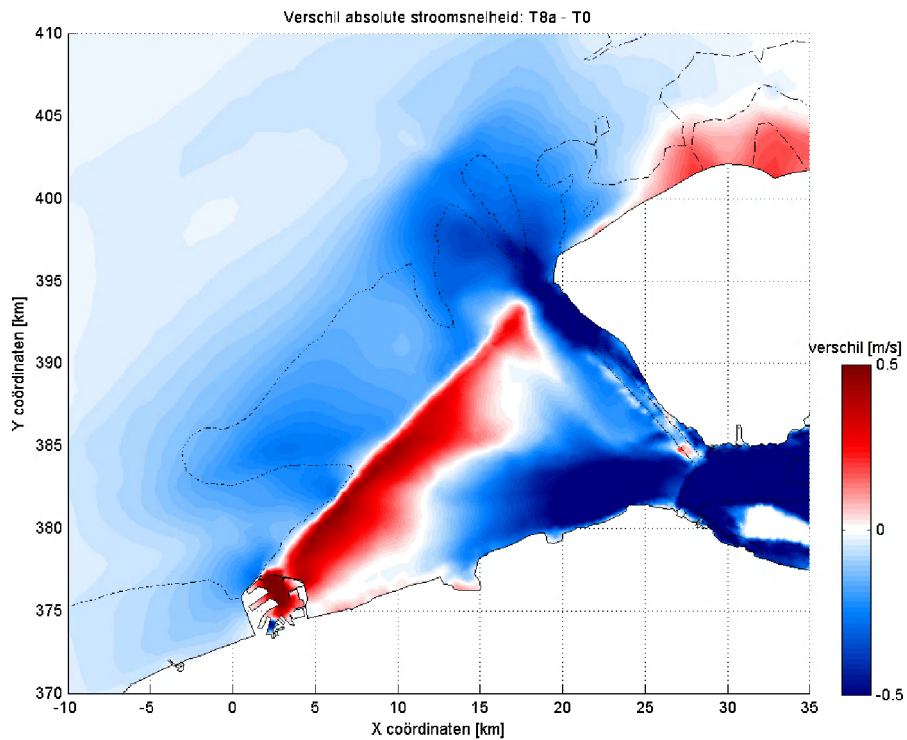
Figuur 10.9: Faseverschil ten opzichte van T0 bij Vlissingen voor scenario T8 (deel 2) langs de hoofdstations in de Westerschelde in minuten. Scenario T0 en het verschil van scenario T8 ten opzichte van scenario T0 zijn eveneens in de figuur weergegeven.



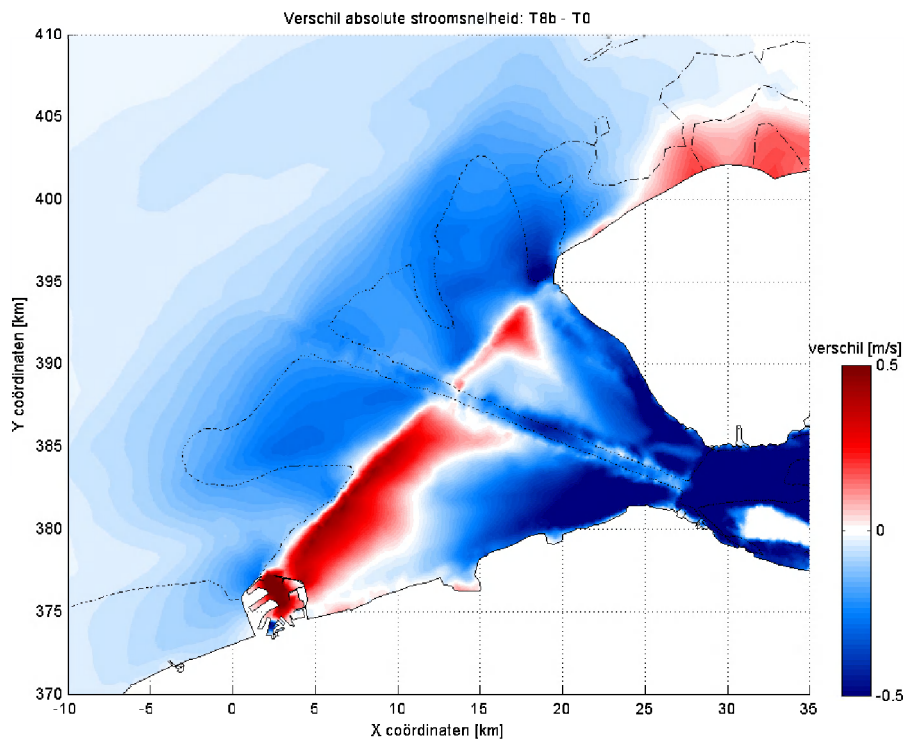
Figuur 10.10: Debietverdeling in de monding van de Westerschelde voor scenario T0 ($dz=0$ m) en T8.



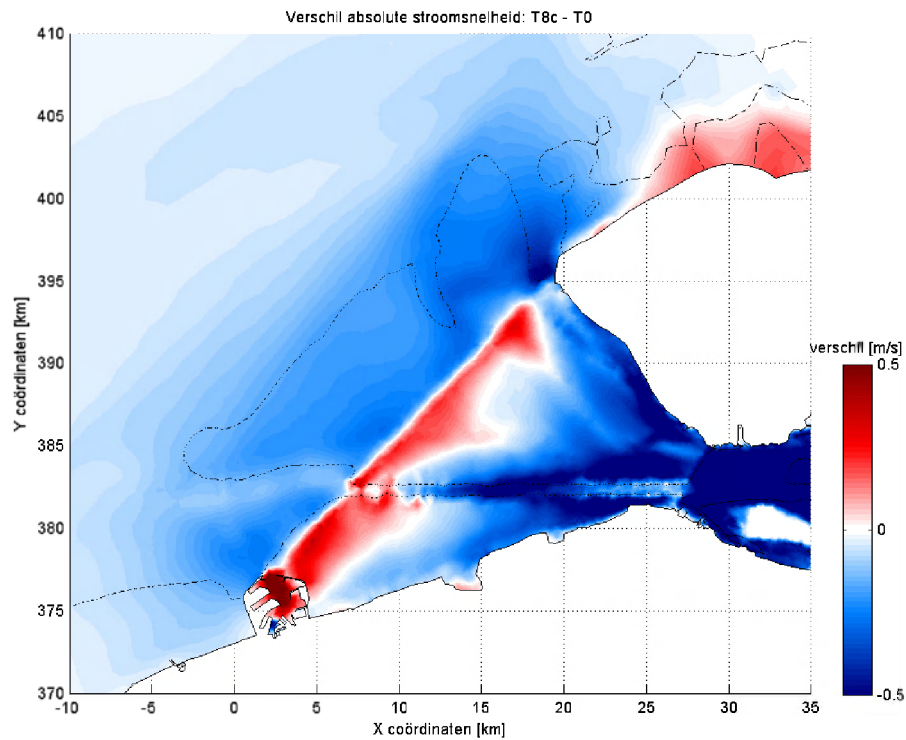
Figuur 10.11: Debietverdeling in de Westerschelde voor scenario T0 (dz=0 m) en T8.



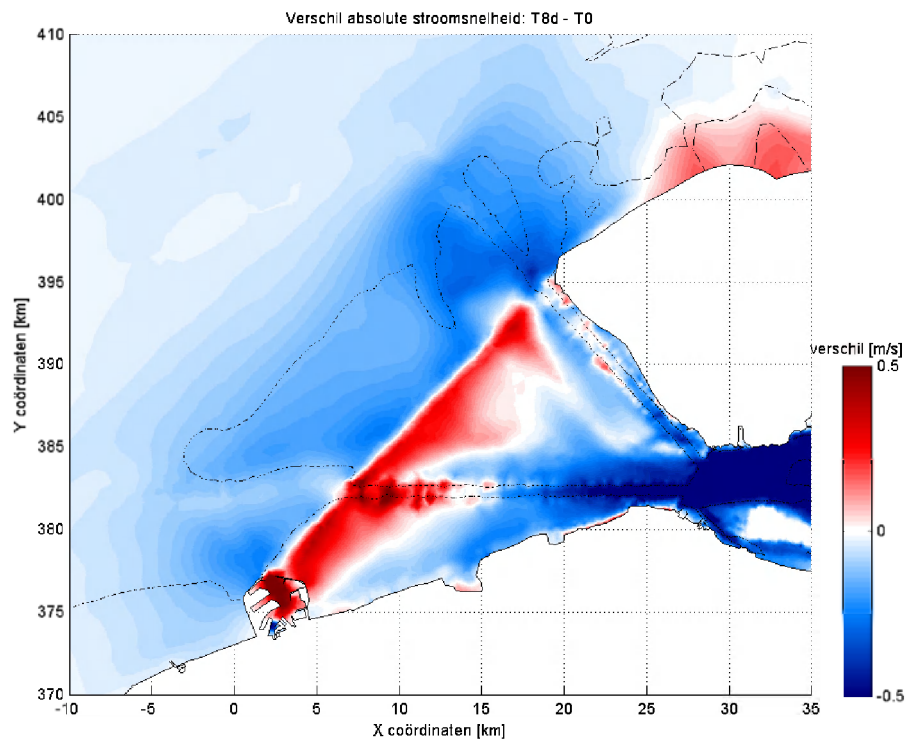
Figuur 10.12: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T8a rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T8a hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



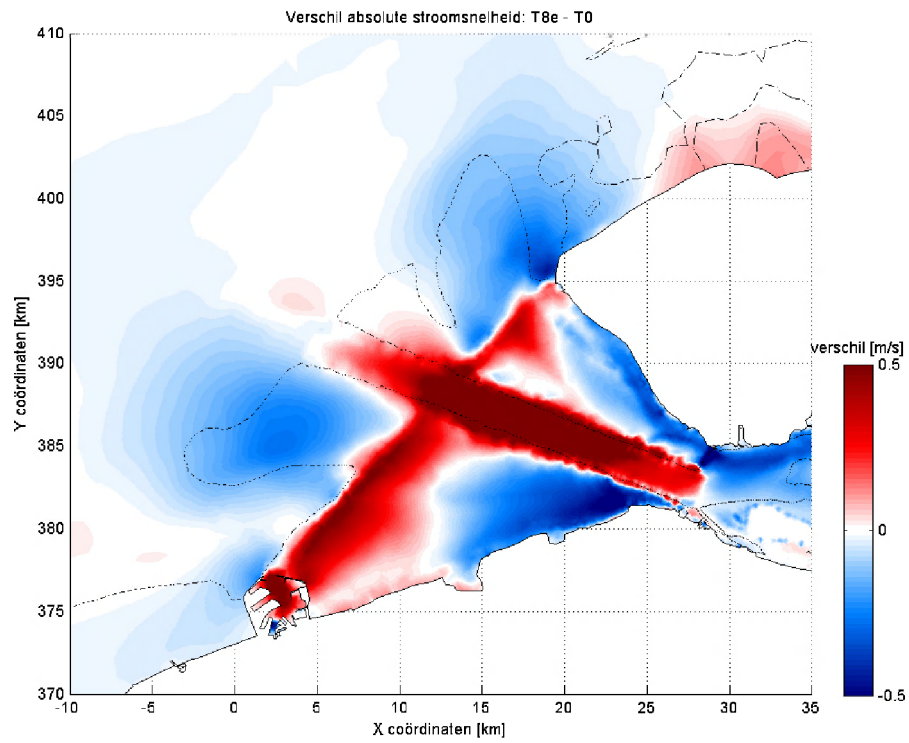
Figuur 10.13: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T8b rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T8b hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 10.14: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T8c rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T8c hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.



Figuur 10.15: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T8d rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T8d hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

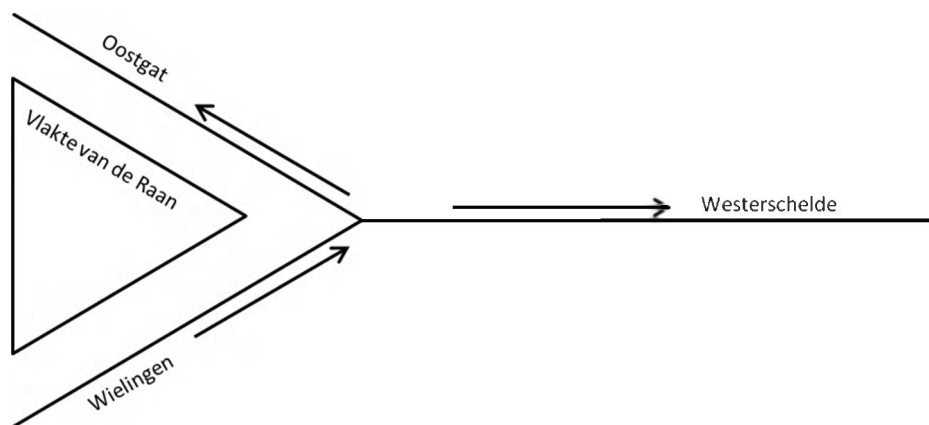


Figuur 10.16: Verschil in stroomsnelheid tussen scenario T0 en scenario T8e rond maximale vloedstroming. Rood geeft aan waar de stroomsnelheid in scenario T8e hoger ligt dan in scenario T0; blauw geeft aan waar lager.

11 CONCLUSIE

De afgelopen decennia is de getijslag in de Westerschelde toegenomen. Om inzicht te krijgen in welke rol de monding zou kunnen spelen in eventuele mitigerende maatregelen zijn een aantal verkennende scenario's onderzocht. De invloed op de getijslag en de fase is voor de verschillende scenario's weergegeven in Tabel 11.1 en Tabel 11.2.

De werking van het getij in de monding kan als volgt omschreven worden: de geul de Wielingen die nu als vaargeul gebruikt wordt is vooral belangrijk voor de instroming. Een verdieping van deze geul geeft een hogere getijslag in de Westerschelde en omgekeerd geeft een verondieping een verlaging van de getijslag. Het Oostgat werkt andersom. Deze geul is voornamelijk belangrijk bij de uitstroming van het getij. Een verdieping van deze geul resulteert in een verlaging van het getij. De Vlakte van de Raan werkt hetzelfde als het Oostgat. Een verlaging van de Vlakte van de Raan zorgt voor een verlaging van het getij. De voortplanting van het getij kan worden geschematiseerd als in Figuur 11.1.



Figuur 11.1: Schematische weergave van de voortplanting van het getij in de Westerschelde.

Uit de berekeningen van de scenario's is gebleken dat de ingrepen in de monding van de Westerschelde aanzienlijk moeten zijn om een effect op de getijslag te hebben. Het opvullen van de monding van de Westerschelde tot NAP -2 m met een vaargeul van 500 m breed op ongeveer de huidige vaargeuldiepte (NAP -18 m), resulteert in de grootste verlaging (meer dan halvering) van de getijslag. Het doorstroomoppervlak in de monding wordt op deze wijze dusdanig gereduceerd, dat het debiet door de monding significant afneemt. Als het doorstroomoppervlak van deze geul wordt verdubbeld, wordt de afname van de getijslag significant kleiner en is er een veel beperkter effect op de getijslag.

Een verdieping van het Oostgat en het aanbrengen van een ondiepte in de Wielingen resulteert ook in een verlaging van de getijslag maar in een beperkte mate in vergelijking tot de hoeveelheid sediment die bij de scenario's betrokken is. Een verdieping van de Wielingen, en een ophoging van de Vlakte van de Raan, hebben juist een verhoging van de getijslag tot gevolg. Een verlaging van de Vlakte van de Raan zou wel een verlaging van de waterstanden kunnen geven, maar moet van aanzienlijke omvang zijn om enig effect te bewerkstelligen.

Bij eventuele mitigerende maatregelen dient wel de rol van de getijasymmetrie verder onderzocht te worden. De getijasymmetrie is mede bepalend voor de import of export van sediment uit het estuarium en kan veranderen als gevolg van dergelijke mitigerende maatregelen.

Tabel 11.1: Effect op de getijslag [cm] voor de verschillende scenario's en stations in de Westerschelde. Een negatief verschil betekent een verlaging van de getijslag; een positief verschil een toename.

Station Scenario	Zee- brugge	West- kapelle	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath	Antwerpen
T1a	-0	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
T1b	-0,5	-2,5	-1	-1	-1	-1	-1
T1c	-1	-4	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
T2a	1	-3	1	1	1	1	1
T2b	2,5	-14	2	2	2	2	2
T2c	9	-34	8	7	9	4	0
T3a	0	1	1	1	1	1	1
T3b	0	2	2	2	2	2	2
T3c	0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
T4	2	nvt	8	8	9	9	8
T5	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
T6a	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
T6b	0	-8	-10	-10	-11	-12	-12
T7a	-12	8	-14	-14	-14	-14	-17
T7b	-26	0	-18	-18	-18	-18	-17
T8a	-60	-70	-280	-320	-370	-440	-470
T8b	-60	-80	-280	-320	-370	-440	-470
T8c	-60	-110	-280	-320	-370	-440	-470
T8d	-30	-50	-170	-190	-230	-290	-280
T8e	-40	-40	-70	-70	-80	-80	-90

Tabel 11.2: Effect op de fase [minuut] voor de verschillende scenario's en de stations in de Westerschelde. Een negatieve faseverschuiving betekent een versnelling; een positieve een vertraging.

Station Scenario	West - kapelle	Zee- brugge	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath	Antwerpen
T1a	0	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
T1b	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
T1c	0	0	-3	-3	-3	-3	-3
T2a	0	1	2	2	2	2	2
T2b	1	4	6	6	6	6	6
T2c	9	4	30	30	30	30	30
T3a	0	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
T3b	0	-0,5	-1	-1	-1	-1	-1
T3c	0	-1	-3	-3	-3	-3	-3
T4	0	Nvt	3	3	3	3	3
T5	0	0	0	0	0	0	0
T6a	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
T6b	0	1	3	3	3	3	3
T7a	-1	-8	-15	-15	-15	-15	-15
T7b	8	-6	-8	-8	-8	-8	-8
T8a	10	10	140	140	140	140	140
T8b	10	10	140	140	140	140	140
T8c	10	10	140	140	140	140	140
T8d	10	10	105	105	105	105	105
T8e	10	10	60	60	60	60	60

REFERENTIES

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). LTV V&T-report: Actualisatierapport Finel 2D Schelde-estuarium (A-26).

SVASEK
HYDRAULICS
COASTAL, HARBOR AND RIVER CONSULTANTS