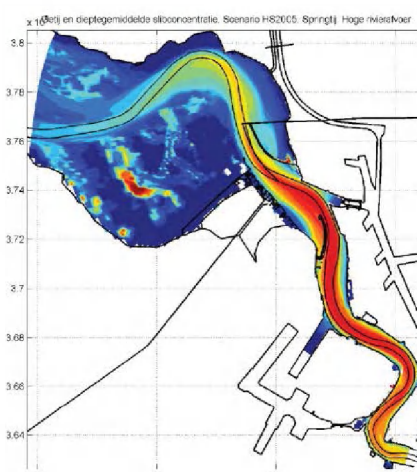


Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid

Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium

Achtergrondrapport A-27

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	Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.103/GVH,
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\A-27 - Actualisatierapport Delft3D Schelde - estuarium_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	23/05/12	FINAAL	B. Grasmeijer	G. Dam	M. Taal
1.1	16/04/13	Klaar voor revisie	B. Grasmeijer	G. Dam	M. Taal
2.0	01/10/13	FINAAL	B. Grasmeijer	G. Dam	M. Taal

Verdeellijst

1	Analoog	Youri Meersschaut
1	Digitaal	Youri Meersschaut

ACTUALISATIE DELFT3D MODEL VAN DE WESTERSCHELDE

LTV V&T SCHELDE

11 april 2013
077028230:0.1 - Concept
C04021.002666.0100



Inhoud

1	Inleiding	3
2	Model schematisatie	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Simona schematisatie	5
2.3	Omzetting Simona naar Delft3D	6
2.4	Rekenroosters	6
2.5	Randvoorwaarden	7
2.6	Bodemsamenstelling	7
2.7	Baggeren, storten en zandwinning	8
2.7.1	Baggeren en storten	9
2.7.2	Zandwinning	11
3	Validatie waterbeweging	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Waterstanden	13
3.3	Debieten	16
4	Validatie morfologie	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Instellingen	19
4.3	Vergelijking berekend en gemeten sedimentatie/erosie patroon	21
4.4	Vergelijking baggervolumes	22
4.5	Vergelijk met Finel2D uitkomsten	23
5	Invloed van golven	25
5.1	Inleiding	25
5.2	Basisinstellingen golfmodel	25
5.3	Randvoorwaarden	26
5.3.1	wind en golfklimaat schematisatie	26
5.4	Validatie	29
5.5	Optimalisatie golfklassen	33
5.6	Morfologie	34
5.6.1	15 golfklassen	34
5.6.2	Effecten reductie golfklassen	36
5.7	Conclusies	37
6	Conclusies en aanbevelingen	38
6.1	Conclusies	38
6.2	Aanbevelingen	39
	Referenties	40

HOOFDSTUK 1 Inleiding

In het kader van het programma LTV V&T worden sedimenttransport-berekeningen en morfologische berekeningen uitgevoerd met een Delft3D model van het Schelde-estuarium. Een eerdere versie van een dergelijk model is al gekalibreerd en gevalideerd door Kuijper et al. (2006). Dit model is echter beperkt toepasbaar voor deze studie, vanwege:

- de te grove resolutie; en
- het niet meenemen van de rivieren bovenstrooms van Schelle.

Voor deze studie is daarom gebruik gemaakt van het meest recente NeVla-model (Maximova et al, 2009). Het is een gedetailleerd 2Dh stromingsmodel van het Schelde-estuarium. De naam NeVla is een samentrekking van Nederlands en Vlaams. Het model omvat een ruim zeegebied en alle Vlaamse getijrivieren, zoals Schelde, Durme, Rupel, Nete (Beneden, Grote en Kleine), Dijle en Zenne. Deze rivieren zijn alle tot aan hun getijgrens gerepresenteerd.

Redenen om voor dit model te kiezen zijn de volgende:

- State-of-the-art waterbewegingsmodel dat recent is geoptimaliseerd (Maximova et al, 2009a, b, c)
- Bevat ook riviertakken bovenstrooms van Schelle. Debietranden liggen bij meetstations.
- Consistentie met LTV-slib-model

Tevens bevat het model de bodem van 2006 (Maximova, 2009a,b,c), in tegenstelling tot het model van Kuijper, waar uit is gegaan van de bodem van 1998.

Het NeVla-model maakt gebruik van het Simona simulatiepakket van Rijkswaterstaat. Om de koppeling met sedimenttransport en morfologie te maken, is het omgezet naar Delft3D. De bewegingsvergelijkingen die in beide programma's worden opgelost, zijn in principe gelijk, maar in detail zijn er wel verschillen op rekenniveau. Ook de schematisatie-elementen (rooster, bodem, obstakels, uitvoerlocaties, enz.) komen goed overeen. Er kan worden volstaan met het omschrijven van de bestanden in het gevraagde formaat.

Om de omzetting te controleren, is er een vergelijking gemaakt tussen de uitvoer van de Simona-versie van het model en die in Delft3D. Hierbij is voornamelijk gekeken naar de reproductie van waterstanden, zowel de modeluitvoer als metingen. Hiervoor is gekeken naar de amplitude en fase van een aantal getijcomponenten.

Voordat het model effectief kan worden toegepast, is geprobeerd om de rekentijd te verkorten. Dit is gedaan door het model op te knippen in 5 deeldomeinen, die ieder op een rekenkern tegelijkertijd worden doorgerekend. Hierbij is rekening gehouden met de beperkingen die door Delft3D worden opgelegd. Dit betreft de onmogelijkheid om het

baggeren en storten van sediment te laten plaatsvinden binnen een gebied die in twee of meer verschillende domeinen liggen.

In de volgende hoofdstukken zal verder ingegaan worden op de vergelijking tussen beide modellen.

HOOFDSTUK 2 Model schematisatie

2.1

INLEIDING

In (Maximova et al., 2009a, b, c) is een gedetailleerde beschrijving gegeven van het NeVla-Simona-model en de afregeling. In dit hoofdstuk zullen enkele relevante aspecten worden uitgelicht en wordt vervolgens een beschrijving gegeven van de NeVla-Delft3D-schematisatie.

2.2

SIMONA SCHEMATISATIE

Het NeVla-Simona model is een combinatie van de bestaande Scalwest-2000 en Zeeschelde modellen. Het betreft een 2D model, dat is gekalibreerd voor het jaar 2006. De kalibratie van het model is uitgevoerd op basis van astronomische componenten, hoog- en laagwaters en voor de zijrivieren. Een 3D-versie van het model is gekalibreerd op basis van astronomische componenten.

Aangezien er niet een bodemligging van het gehele gebied voor 2006 beschikbaar was, is deze samengesteld uit gegevens uit verschillende jaren, die verschillende deelgebieden dekken:

- het Belgisch Continentaal Plat (BCP) uit 2007
- de Westerschelde (geulen: 2006, platen: 2003)
- de Beneden-Zeeschelde (2004-2005)
- de Boven-Zeeschelde (2001)
- de zijrivieren

De strek- en leidammen in het gebied zijn opgenomen in de bodemschematisatie.

Het model wordt op zee aangedreven met twee snelheidsranden, in het noorden en zuiden, loodrecht op de kust. De rand parallel aan de kust betreft een Riemann-rand. Deze randen zijn bepaald met behulp van de modellentrein:

- Continental Shelf Model (CSM)
- Zuidelijke Noordzeemodel (Zuno)
- Nederlands Vlaams model van de Schelde (NeVla)

Het Continental Shelf Model (of CSM) omvat het continentaal plat van 48 graden noord tot 62.25 graden noord en van 12 graden west tot 13 graden oost. In het zuiden ligt de begrenzing ter hoogte van Brest in Frankrijk en in het noorden ter hoogte van Ålesund in Noorwegen. De oostelijke grens ligt ter hoogte van Kopenhagen (in Denemarken) en Malmö in Zweden.

Het Zuidelijke Noordzee (of Zuno) model omvat de zuidelijke Noordzee en Het Kanaal, begrensd door de lijnen Aberdeen (Groot-Brittannië) - Hanstholm (Denemarken) in het noorden en Bournemouth (Groot-Brittannië) - Cherbourg (Frankrijk) in het zuid-westen.

Het NeVla-model wordt bovenstrooms op de rivieren aangedreven met debietstijdsreeksen (op basis van meetgegevens).

2.3

OMZETTING SIMONA NAAR DELFT3D

De omzetting van de Simona schematisatie naar een Delft3D schematisatie bestaat uit het omzetten van de modelinvoer van het Simona-formaat naar het door Delft3D benodigde formaat. Het betreft de volgende bestanden:

- rooster + enclosure
- bodemligging
- bodemruwheid
- schotjes + droge punten
- randvoorwaarden
- uitvoerpunten
- uitvoerraaien
- windtijdsreeks
- initialisatie

2.4

REKENROOSTERS

Met de in deze studie gebruikte versie van Delft3D (open source versie 4.00.07.0892) is het niet mogelijk om een berekening van Delft3D-FLOW en Delft3D-WAVE met de module *dredging & dumping* (dad) op meerder rekenkernen parallel te draaien. Daarom hebben we de rekensnelheid van de Delft3D schematisatie geoptimaliseerd door middel van domeindecompositie. Hierbij is getracht om de omvang in termen van aantallen rekencellen in elk van de domeinen zo gelijk mogelijk te maken. Uiteindelijk is een verdeling in vijf domeinen aangehouden:

- Domein 1: het zeegebied ($379 \times 169 = 64.051$ rekencellen)
- Domein 2: de Westerschelde van de lijn Zeebrugge-Westkapelle tot Hoedekenskerke ($197 \times 357 = 70.329$ rekencellen)
- Domein 3: de rest van de Westerschelde, de Zeeschelde tot Tielrode, de Rupel en de Nete tot Ter Elst ($173 \times 896 = 155.008$ rekencellen)
- Domein 4: de Nete bovenstrooms van Ter Elst, de Kleine Nete en de Grote Nete ($60 \times 1603 = 96.180$ rekencellen)
- Domein 5: de Durme, de Zeeschelde stroomopwaarts van Tielrode, de Zenne en de Dijle ($124 \times 1572 = 194.928$ rekencellen)

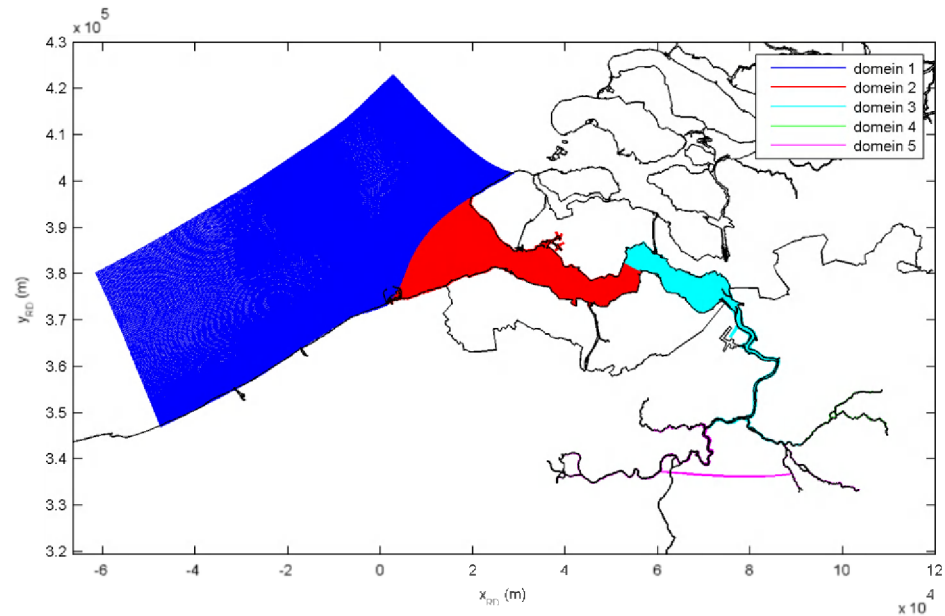
In totaal omvat het NeVla-Delft3D model 580.496 rekencellen.

Figuur 1 toont verdeling van de domeinen. De 'verbinding' tussen de Zeeschelde en de Zenne is aangebracht om de twee deelroosters van domein 5 als één domein te kunnen laten

werken. In de berekeningen is deze middels droge punten dichtgezet, zodat er geen wateruitwisseling is via deze verbinding.

Figuur 1

Domeinen van het Delft3D
Schelde model



Op basis van de omgezette bestanden is een master definition file (mdf) aangemaakt waarin alle invoerbestanden en parameterinstellingen vanuit de Simona invoerfile (siminp) zijn opgenomen.

2.5

RANDVOORWAARDEN

De randvoorwaarden tijdseries voor snelheid, Riemann, afvoer en saliniteit zijn ook één-op-één omgezet. In de Simona-schematisatie bleken op de noord- en zuidrand aan de zeewaartse kant over de eerste 7 rekencellen geen snelheid opgelegd te worden door het ontbreken van een open rand. Aangezien hiervoor dus geen tijdseries beschikbaar zijn en om de vergelijking zo eerlijk mogelijk uit te kunnen voeren is dit euvel in de Delft3D-schematisatie overgenomen. Voor de toepassing van het model worden voor elk gewenste periode nieuwe randvoorwaarden gemaakt op basis van het Kustzuid-model. Het Kustzuid-model is een uitsnede van het Kuststrook-model. Dit model is voor de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat ontwikkeld om te gebruiken zonder de rest van het Nederlandse kustgebied mee te simuleren.

2.6

BODEMSAMENSTELLING

Het sediment in de Westerschelde, in de geulen en op de platen, bestaat vooral uit zand met minder dan 10% slib. Langs de oevers en op de platen en de schorren kan het percentage slib veel groter zijn. Karakteristieke waarden voor de mediane korrelgrootte zijn de volgende (van Eck, 1999):

- geulen: $d_{50} > 150 \mu\text{m}$;
- platen: $d_{50} = 50\text{-}150 \mu\text{m}$;
- langs de oevers: $d_{50} < 125 \mu\text{m}$.

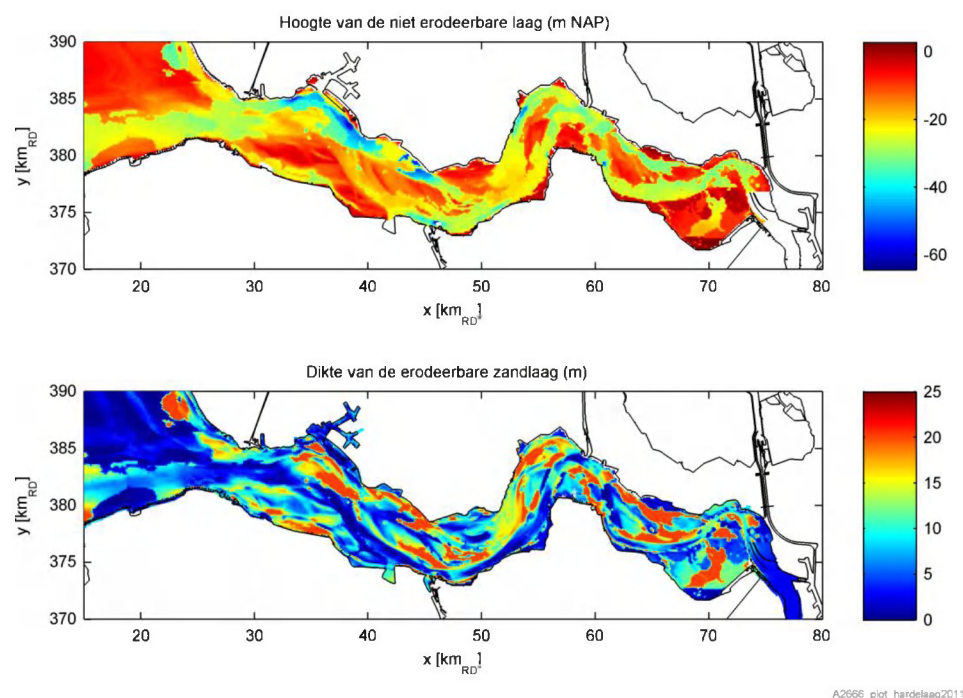
In het oostelijke deel van de Westerschelde is het sediment enigszins fijner dan in het westelijk deel.

De bodem bestaat uit erodeerbare en niet-erodeerbare lagen (Gruijters et al., 2004). De hoogte van de bovenste niet-erodeerbare laag en het bodemniveau bepalen de dikte van de zandlaag die beschikbaar is voor erosie en sedimenttransport. Van de Male (2004) heeft vervolgens bepaald waar deze harde laag doorsneden wordt met historische bodems. Daar waar de gemeten bodem lager lag dan de kartering is deze aangepast op de gemeten bodemhoogte. In het kader van dit project heeft een actualisatie van deze niet-erodeerbare laag plaatsgevonden (Dam, 2012b) door alle bodemliggingen van 1960 tot en met 2011 te vergelijken met de harde laag en aan te passen waar de bodem lager is geweest.

Figuur 2 toont in het bovenste paneel de hoogte van de eerste niet-erodeerbare laag in de Westerschelde. Het onderste paneel toont de resulterende dikte van de erodeerbare zandlaag zoals deze in het geactualiseerde NeVla-Delft3D model wordt toegepast. Duidelijk is hierin te zien dat de dikte van deze erodeerbare laag in veel delen van de Westerschelde betrekkelijk gering is. Diktes kleiner dan één meter worden aangetroffen in de monding en enkele geulen in de Westerschelde, zoals in de Schaar van de Spijkerplaat, de Pas van Terneuzen en het Zuidergat. De Pas van Terneuzen ligt bijvoorbeeld grotendeels vast in de harde laag.

Figuur 2

Hoogte van de eerste niet-erodeerbare laag (bovenste paneel) en dikte van de erodeerbare zandlaag (onderste paneel)



De ligging van de harde laag en de resulterende dikte van de erodeerbare zandlaag heeft een betrekkelijk grote invloed op de uitkomsten van berekeningen met het morfologisch model. Er is echter onzekerheid over de nauwkeurigheid van de harde lagenkaart.

2.7

BAGGEREN, STORTEN EN ZANDWINNING

Naast de natuurlijke sedimenttransporten vindt herverdeling van sediment plaats in de Westerschelde en wordt zand onttrokken door het baggeren/storten en de zandwinning.

Jaarlijkse baggerhoeveelheden zijn tijdens de afgelopen tientallen jaren toegenomen van 4-5 Mm³ in de 60er jaren tot meer dan 10 Mm³ aan het eind van de 90er jaren. Naast het onderhoud voor de vaargeulen worden de havens in de Westerschelde op diepte gehouden, waarbij het gebaggerde materiaal wordt teruggestort in de Westerschelde (ongeveer 2 Mm³/jaar voor de periode 1998-2002).

Door zandwinning is sinds 1955 jaarlijks 2 tot 3 Mm³ aan het systeem onttrokken (Kuijper et al. (2006)). In de Beneden Zeeschelde vindt pas sinds 1981 zandwinning plaats met een jaarlijks gemiddelde onttrekking van 1,5 Mm³, voornamelijk ter plaatse van de Schaar van Ouden Doel.

2.7.1

BAGGEREN EN STORTEN

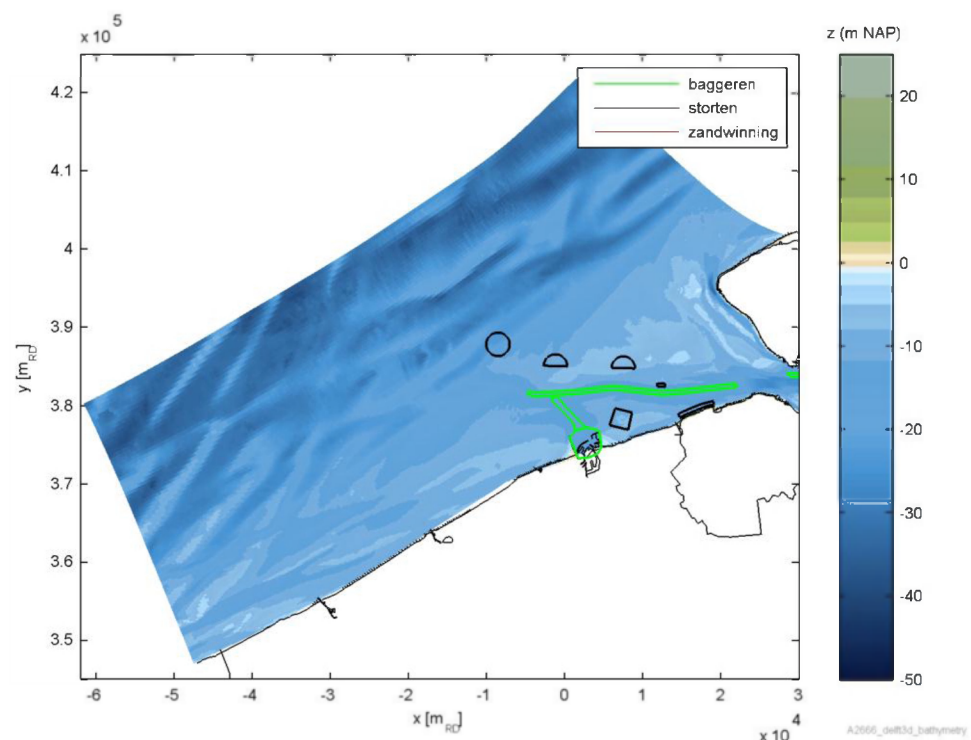
De bagger-, stort- en zandwin polygonen in de Westerschelde voor de periode 1998 tot 2002 zijn voor het westelijk deel van het model weergegeven in Figuur 3, voor het Westerschelde-deel in Figuur 4 en voor de bovenrivieren in Figuur 5. Deze polygonen zijn identiek aan de polygonen zoals gebruikt door Kuijper et al. (2006). Ook de factoren voor de verdeling van het baggervolume over de stortvakken voor de periode 1998-2002 zijn dezelfde als die gebruikt door Kuijper et al. (2006).

Ter indicatie van de hoeveelheden toont Tabel 1 de gemiddelde baggerhoeveelheden voor de periode 1998-2002.

Tabel 2 toont de te onderhouden dieptes in de baggervakken (drempeldieptes) zoals deze in het model zijn geschematiseerd. Deze zijn gelijk aan de waarden gehanteerd door Kuijper et al. (2006).

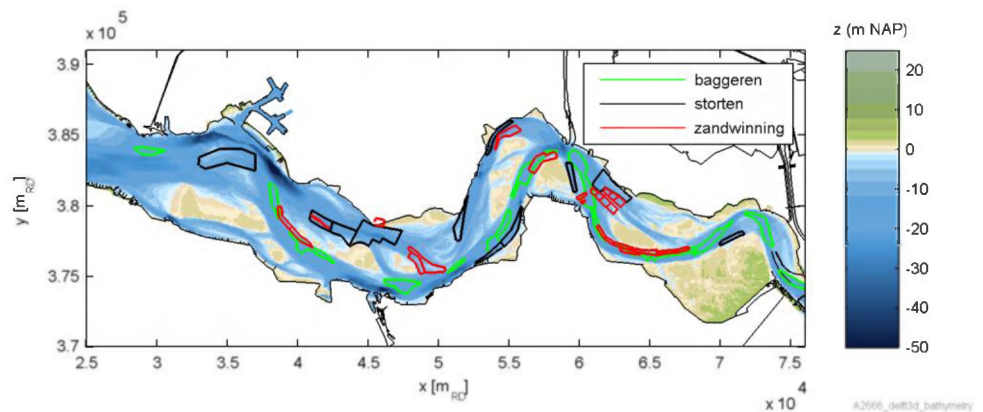
Figuur 3

Bodemhoogte 1998 en polygonen voor baggeren, storten en zandwinning voor het westelijk deel van het model

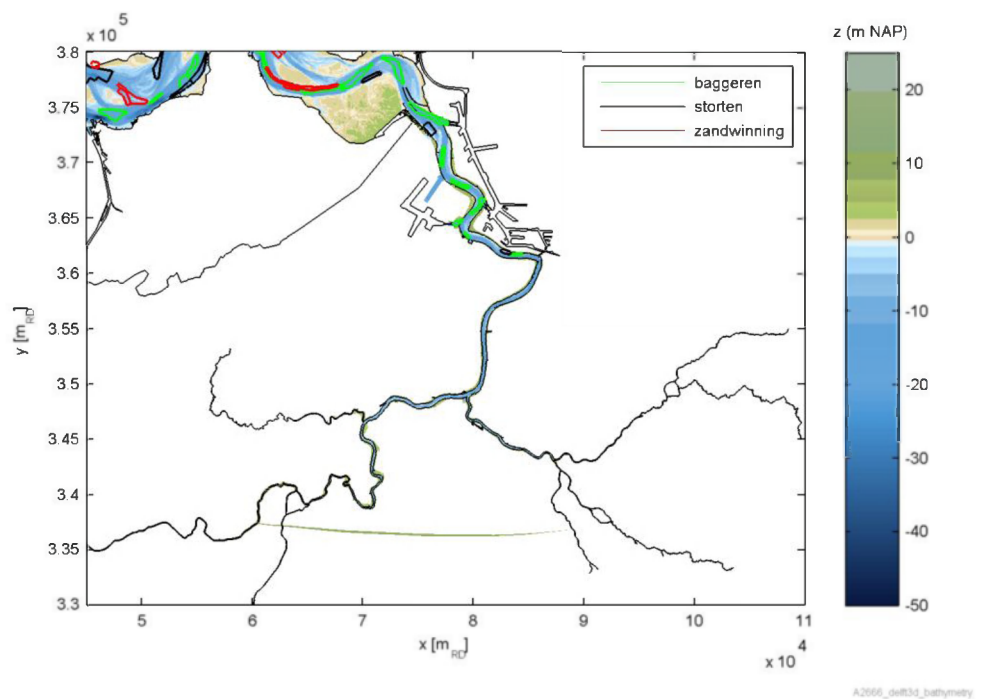


Figuur 4

Bodemhoogte 1998 en polygonen voor baggeren, storten en zandwinning voor het middendeel van het model

**Figuur 5**

Bodemhoogte 1998 en polygonen voor baggeren, storten en zandwinning voor het oostelijk deel van het model

**Tabel 1**

Gemiddelde baggerhoeveelheden in de Westerschelde voor de periode 1998-2002

Locatienummer	Baggervak	Baggerhoeveelheid [m ³]
14	Drempel van Vlissingen	452.544
13	Drempel van Borssele	1.100.515
12	Put van Terneuzen	696.076
11	Drempel v. Baarland	62.288
10	Platen v. Ossensisse	441.894
9	Overloop v. Hansweert	1.301.536
8	Drempel v. Hansweert	2.792.799
7	Plaat van Walsoorden	439.239
6	Platen v. Valkenisse	82.371
5	Overloop v. Valkenisse	1.742.106
4	Drempel v. Valkenisse	1.793.696
3	Drempel v. Bath	1.250.144
	Totaal:	12.155.207

Tabel 2

Te onderhouden
bodemhoogte zoals
geschematiseerd in het
model

Locatienummer	Omschrijving	Bodemhoogte (m NAP)
3	Drempel van Bath	-16,0
4	Drempel van Valkenisse	-16,0
5	Overloop van Valkenisse	-16,0
6	Platen van Valkenisse	-16,0
7	Plaat van Walsoorden	-15,9
8	Drempel van Hansweert	-15,9
9	Overloop van Hansweert	-15,9
10	Platen van Ossenissee	-15,9
11	Drempel van Baarland	-15,9
12	Put van Terneuzen	-16,3
13	Drempel van Borssele	-16,3
14	Drempel van Vlissingen	-16,8
B100	Drempel van Zandvliet	-16,1
B101	Drempel van Frederik	-15,8
B102	Drempel van Lillo	-13,8
B103	Drempel van de Parel	-13,8
B104	Toegang Kallosluis	-13,3
B105	Drempel Krankeloon	-11,4
B106	Haven en Voorhaven	-17,6
B107	Pas van het Zand - Ribzand	-17,6
B108	Wielingen - Scheur	-17,6

De factoren voor de verdeling van het baggervolume over de stortvakken zijn dezelfde als die toegepast door Kuijper et al. (2006).

2.7.2

ZANDWINNING

Zandwinning vindt plaats in de Westerschelde sinds 1955. In de Beneden Zeeschelde is dit het geval sinds 1981. Er is geen zandwinning in de monding. De zandwinning in de Westerschelde vindt plaats voor de Nederlandse overheid en voor de handel. Van de locaties, waar zand wordt gewonnen voor de overheid, zijn alleen x en y coördinaten bekend, d.w.z. geen polygonen. In het model zijn deze locaties geschematiseerd met vierkante polygonen met afmetingen van 500x500 m². In een bepaald jaar vindt de zandwinning plaats in één of twee locaties; in de opvolgende jaren schuiven deze locaties op. In het model vindt de zandwinning in alle locaties tegelijkertijd plaats. Per locatie wordt het zandwinvolume als een gemiddeld volume voor de totale simulatieperiode in het invoerbestand gespecificeerd. Van de locaties, waar zand wordt gewonnen voor de handel, zijn wel polygonen beschikbaar. Ook in deze locaties wordt een gemiddeld te onttrekken zandwinvolume opgegeven. Ook deze polygonen kunnen in de loop van de tijd van plaats veranderen. Voor het model zijn per locatie de omhullende polygonen bepaald.

De rode polygonen in figuren 7, 8 en 9 tonen de zandwingebieden. In het model wordt de zandwinning als 'in situ kuubs' (d.i. profielkuubs) opgegeven. Deze zijn afgeleid van de beunkuubs uit Tabel 3 door vermenigvuldiging met een factor 0,9.

Tabel 3

Zandwinvolumes (beun
kuubs)

Jaar	Zandwinvolume Westerschelde handel [m ³]	Zandwinvolume Westerschelde overheid [m ³]	Zandwinvolume Beneden Zeeschelde [m ³]
1998	1.737.052	362.931	1.761.858
1999	2.133.442	712.702	1.906.849
2000	1.954.434	1.003.440	1.349.973
2001	1.591.444	529.820	825.700
Gemiddeld per jaar	1.854.093	652.223	1.461.095
Totaal	7.416.372	2.608.893	5.844.380

HOOFDSTUK

3 Validatie waterbeweging

3.1

INLEIDING

Het NeVla-Simona model werd al door Maximova et al (2006) geoptimaliseerd. In deze studie is daarom geen nieuwe optimalisatie van het NeVla-Delft3D-model uitgevoerd. Er is wel een validatie uitgevoerd op basis van gemeten en berekende waterstanden en debieten.

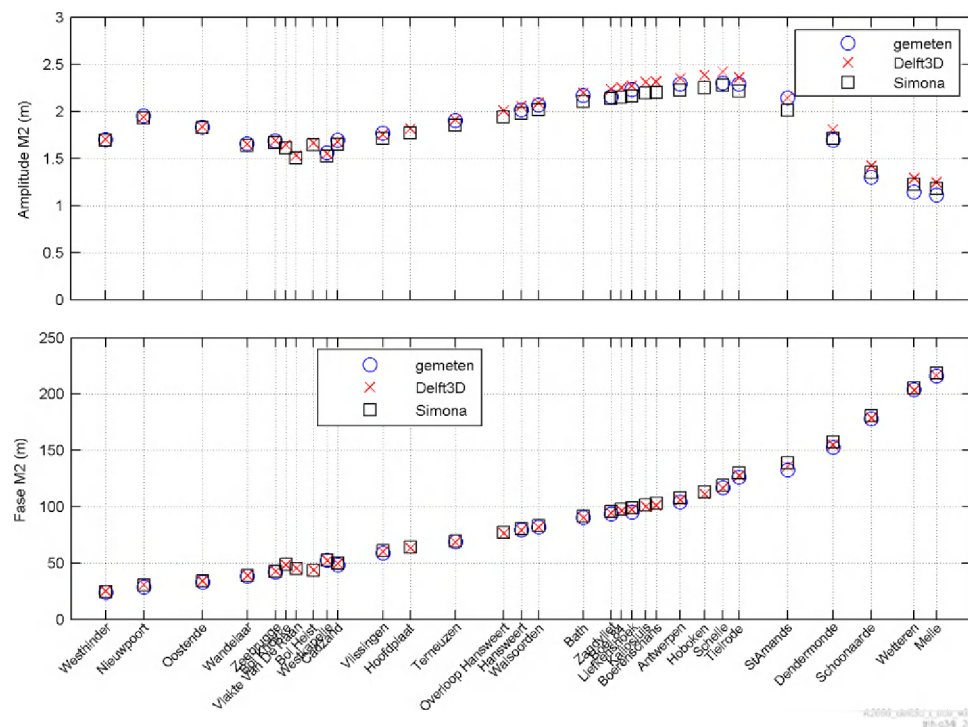
3.2

WATERSTANDEN

De gemeten en berekende amplitudes en fases van de M2, M4 en M6 componenten van het getij zijn vergeleken. Hierbij is gebruik gemaakt van de waterstanden van het jaar 2006. Dit is dezelfde periode als bij de kalibratie van het NeVla-Simona model (Maximova et al., 2009a, b, c) en biedt de mogelijkheid een goede vergelijking tussen beide modellen en met de metingen te maken. De gemeten waterstanden van 2006 en de NeVla-Simona resultaten zijn aangeleverd door WL Borgerhout. De Matlab-toolbox t_tide is toegepast voor bepaling van de getijcomponenten uit de meting en de berekeningen.

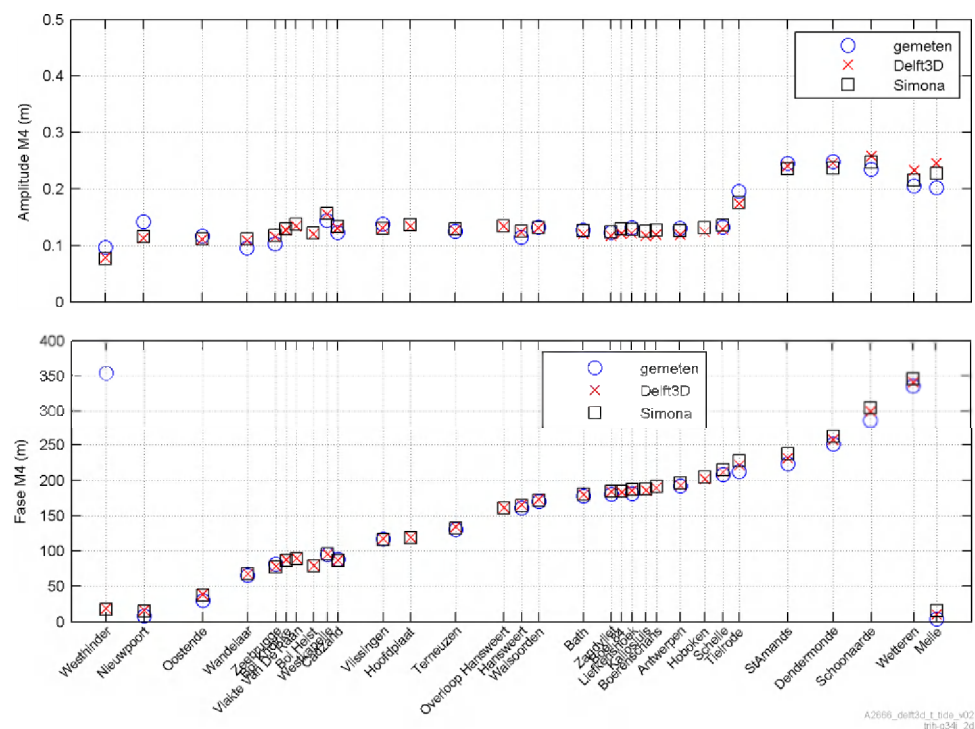
Figuur 6

Gemeten en berekende amplitude en fase voor de M2-component van het getij langs het Schelde-estuarium



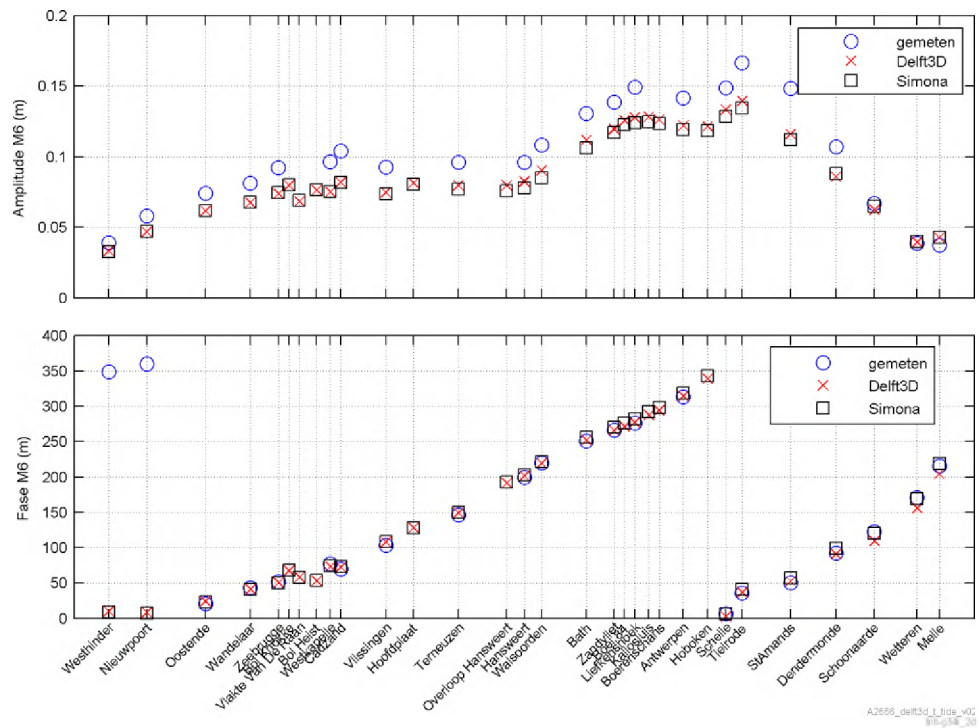
Figuur 6 toont de gemeten en berekende amplitude en fase van de M2-component van het getij langs het Schelde-estuarium. De horizontale as loopt van zee (Westhinder), langs de

Figuur 7



Figur 8

Gemeten en berekende
amplitude en fase voor de
M6-component van het
getij langs het Schelde
estuarium



Tabel 4 toont de gemeten amplitudes van de M2, M4 en M6 componenten per station. De procentuele verschillen van de berekende amplitudes uit het NeVla-Simona model en uit het NeVla-Delft3D model staan in de kolommen rechts van de gemeten waarden. Hieruit blijkt dat de M2-amplitude-afwijking voor NeVla-Delft3D voor het grootste deel van Noordzee, Westerschelde en Zeeschelde maximaal 3% bedraagt.

Benedenstroom van Antwerpen is de M2-amplitude-afwijking voor NeVla-Delft3D in het algemeen iets kleiner dan die voor NeVla-Simona. Bovenstrooms in de Schelde is de M2-amplitude-afwijking iets groter en is de afwijking voor NeVla-Delft3D iets groter dan die voor NeVla-Simona.

Voor de M4-component is de procentuele afwijking groter maar de amplitudes zijn ook kleiner. De M4-amplitude-afwijkingen zijn voor NeVla-Delft3D en NeVla-Simona steeds van ongeveer dezelfde grootte. Ook voor de M6-component volgt NeVla-Delft3D het NeVla-Simona model.

Tabel 4

Gemeten amplitudes M2, M4 en M6 en verschil met berekende waarden

	Gemeten amplitude M2 (m)	Vershil NeVla Simona	Vershil NeVla Delft3D	Gemeten amplitude M4 (m)	Vershil NeVla Simona	Vershil NeVla Delft3D	Gemeten amplitude M6 (m)	Vershil NeVla Simona	Vershil NeVla Delft3D
Nieuwpoort	1.96	-2%	-1%	0.14	-19%	-21%	0.06	-19%	-20%
Oostende	1.83	0%	0%	0.12	-5%	-6%	0.07	-16%	-17%
Wandelaar	1.66	-1%	0%	0.10	17%	15%	0.08	-17%	-17%
Zeebrugge	1.68	-1%	0%	0.10	15%	12%	0.09	-19%	-20%
Westkapelle	1.56	-2%	0%	0.14	9%	8%	0.10	-22%	-22%
Cadzand	1.69	-3%	-1%	0.12	8%	5%	0.10	-21%	-21%
Vlissingen	1.77	-3%	-1%	0.14	-5%	-5%	0.09	-21%	-20%
Terneuzen	1.90	-3%	0%	0.13	3%	1%	0.10	-20%	-17%
Hansweert	2.01	-2%	2%	0.11	10%	8%	0.10	-19%	-14%
Walsoorden	2.06	-2%	1%	0.13	-1%	-1%	0.11	-21%	-17%
Bath	2.17	-3%	1%	0.13	0%	-5%	0.13	-19%	-14%
Liefkenshoek	2.23	-3%	2%	0.13	-2%	-8%	0.15	-17%	-14%
Antwerpen	2.29	-3%	3%	0.13	-3%	-8%	0.14	-16%	-14%
Schelle	2.30	-1%	5%	0.13	2%	-3%	0.15	-14%	-11%
Tielrode	2.29	-3%	3%	0.20	-10%	-11%	0.17	-19%	-16%
StAmands	2.14	-6%	0%	0.24	-4%	-2%	0.15	-24%	-22%
Dendermonde	1.69	1%	7%	0.25	-5%	-1%	0.11	-18%	-20%
Schoonaarde	1.30	4%	9%	0.23	5%	10%	0.07	-3%	-7%
Wetteren	1.14	7%	13%	0.20	6%	14%	0.04	4%	3%
Melle	1.11	6%	12%	0.20	13%	21%	0.04	15%	14%

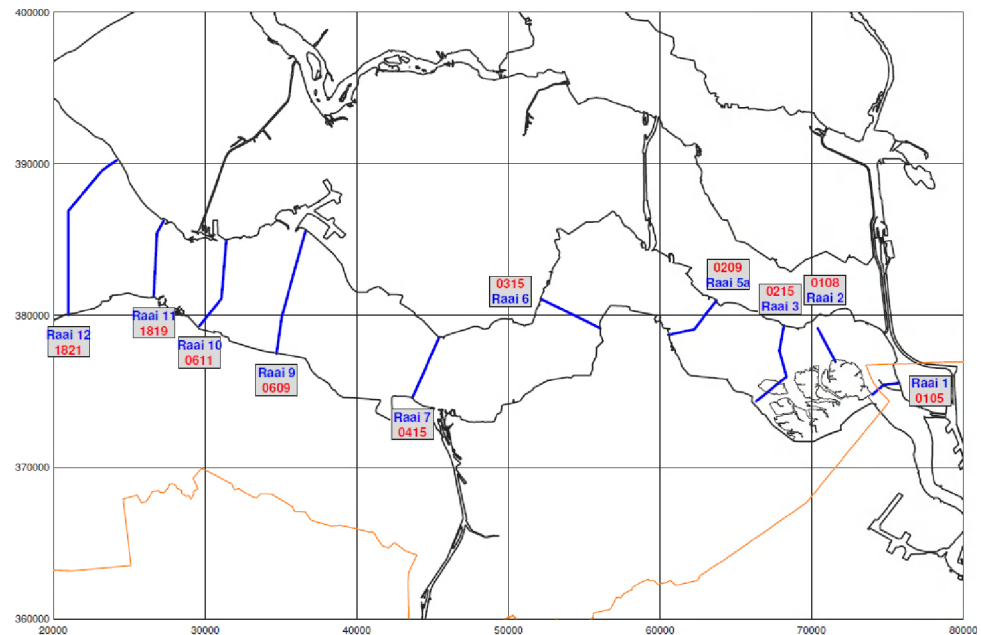
3.3

DEBIETEN

In het Schelde-estuarium bevinden zich een aantal standaard debietraaien waar op regelmatige basis snelheden worden gemeten. Figuur 9 toont de locaties van deze raaien. De resulterende debieten worden afgeleid voor zowel de vloed- als de ebgeulen. In 2006 zijn de snelheden in de raaien 1, 9 en 11 gemeten.

Figuur 9

Lokaties van standaard
debietraaien in de
Westerschelde

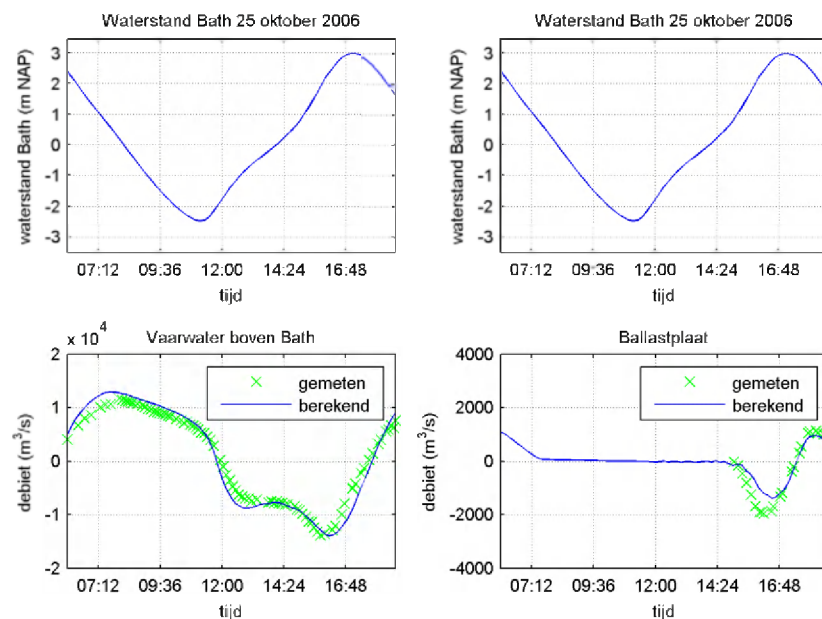


In deze studie zijn berekende en gemeten debieten in het jaar 2006 vergeleken voor de raaien ter hoogte van Vaarwater boven Bath en ter hoogte van Ballastplaat (samen raai 1) en de raaien ter hoogte van Honte / Schaar van Spijkerplaat en Vaarwater langs de Hoofdplaat (samen raai 9).

Figuur 10 toont gemeten en berekende debieten voor raai 1. De overeenkomst tussen gemeten en berekende debieten is goed voor de betrekkelijk grote debieten door het raaiendeel over het Vaarwater boven Bath ($r^2 = 0,94$). Door het raaiendeel over de Ballastplaat zijn de berekende en gemeten debieten veel kleiner (factor 10 kleiner). De overeenkomst tussen berekeningen en metingen is voor dit raaiendeel minder goed ($r^2 = 0,28$).

Figuur 10

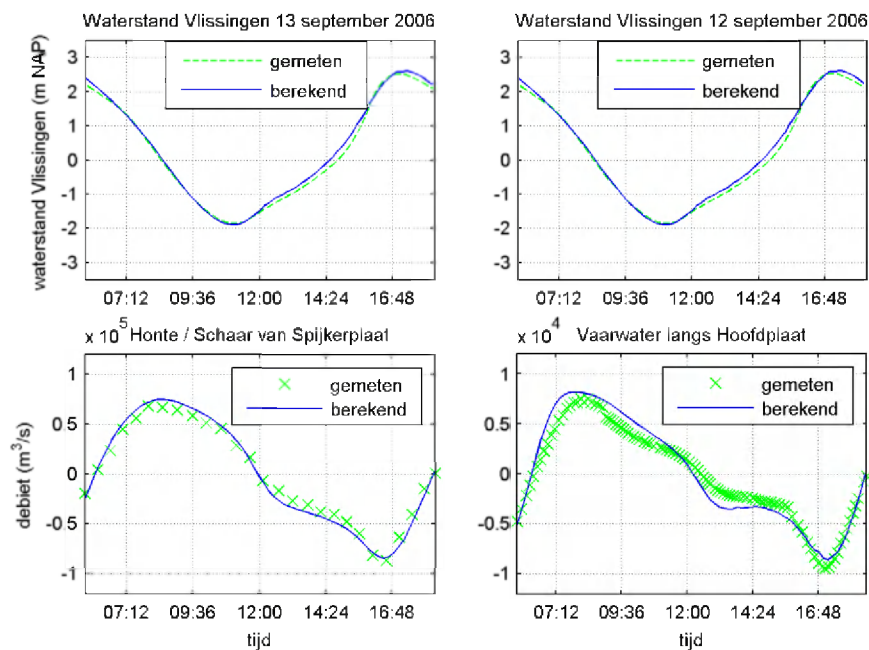
Gemeten en berekende
debieten raai 1



Figuur 11 toont de gemeten en berekende waterstanden bij Vlissingen en de gemeten en berekende debieten voor raai 9 op 12 en 13 september 2006. De waterstanden bij Vlissingen komen zeer goed overeen met de metingen ($r^2 = 0,97$). De overeenkomst tussen gemeten en berekende debieten is zeer goed voor de debieten door het raai deel over de Honte en Schaar van Spijkerplaat ($r^2 = 0,99$) en eveneens zeer goed door het raai deel over het Vaarwater langs de Hoofdplaat ($r^2 = 0,97$).

Figuur 11

Gemeten en berekende
debieten raai 9



HOOFDSTUK

4 Validatie morfologie

4.1

INLEIDING

Voor de actualisatie van de morfologie zijn de instellingen van het voorgaande Delft3D model (Kuijper et al, 2006) als startpunt gebruikt, in combinatie met de nieuwe schematisatie (Maximova, 2009a,b,c). Als morfologische hindcast periode is ervoor gekozen om de jaren 1998 – 2002 door te rekenen.

4.2

INSTELLINGEN

De belangrijkste instellingen voor het model zijn weergegeven in Tabel 5. Het model is voor elke simulatie van 4 jaar steeds eerst 1 jaar ingespeeld. Deze procedure werd ook gevolgd door Kuijper et al. (2006) en wordt ook gevolgd in de berekeningen met Finel2D.

Tabel 5

Delft3D modelinstellingen

Parameter	Value
Roughness	
Roughness formula	Manning
Roughness value	Ruimtelijk variërend van 0.025 m tot 0.017
Wall roughness slip condition	Free
Viscosity	
Horizontal eddy viscosity	1 m ² /s
Horizontal eddy diffusivity	1 m ² /s
Sediment	
Sediment transport model	Van Rijn (2007)
Median sediment diameter sand	200 µm
Initial distribution	Zie Figuur 2 voor dikte erodeerbare laag
Morphology	
Update bathymetry during flow simulation	True
Include effect of sediment on fluid density	False
Equilibrium sand conc. profile at inflow boundaries	True
Morphological scale factor	26 (104 voor validatie)
Van Rijn's reference height factor	1
Threshold sediment thickness	0,05 m
Factor for erosion of adjacent cells	0
Current-related reference concentration factor	0,5
Current-related transport vector magnitude factor	0,5
Transverse bed gradient factor α_{bn}	100
Streamwise bed gradient factor α_{bs}	1

In verband met de rekentijd is voor elke kalibratie-run in eerste instantie steeds een morfologische schaalfactor (morfac) van 104 gehanteerd. Wanneer de resultaten van de run voldoende goed overeen kwamen met het gemeten sedimentatie/erosie patroon is de simulatie herhaald met een morfac van 26. Hierbij is steeds 1 jaar gesimuleerd en zijn de resultaten uit die run als invoer gebruikt voor de volgende simulatie van 1 jaar. Dit is 4x herhaald om op de totale periode van 4 jaar te komen.

Als basis voor de morfologische berekeningen met het NeVla model is de Van Rijn (2007a, 2007b) sedimenttransportmodule toegepast. Deze simuleert het gedrag van zowel cohesief als niet-cohesief materiaal en werd in 2007 in Delft3D geïmplementeerd. De module berekent de verticale verdeling van de sedimentconcentratie afhankelijk van de effectieve valsnelheid van het sediment, de schuifspanning bij de bodem en turbulentie. Een gedetailleerde beschrijving van de module valt buiten de reikwijdte van deze studie. Belangrijk te noemen aspect is de wijze waarop de bodemruwheid wordt behandeld. In tegenstelling tot andere transportmodellen die uitgaan van een constant door de gebruiker opgegeven ruwheid, berekend het Van Rijn (2007a, 2007b) transportmodel de ruwheden afhankelijk van de condities. Dit betekent dat de bodemruwheden automatisch in de tijd en de ruimte variëren.

Kuijper et al. (2006) maken gebruik van het Engelund-Hansen transportmodel. Ook in Finel2D wordt gebruikt gemaakt van dit transportmodel. Om de invloed van de keuze van het transportmodel te onderzoeken zijn er ook met het NeVla-Delft3D model simulaties uitgevoerd met het sedimenttransportmodel van Engelund-Hansen. Deze formuleringen maken geen onderscheid tussen bodem- en suspensief transport. Het totaal transport wordt direct uitgerekend op basis van de lokale hydrodynamische omstandigheden en sedimentkarakteristieken. In het simulatieprogramma wordt dit totaaltransport afgehandeld zonder gebruik te maken van de advection-diffusievergelijking.

Er zijn een groot aantal testsimulaties uitgevoerd met het sedimenttransportmodel van Van Rijn (2007). Hierbij zijn testen uitgevoerd met verschillende ruwheidsformulering, namelijk Manning, Chezy en Van Rijn (2007) met verschillende instellingen. Tevens zijn testen uitgevoerd met verschillende factoren op het transport (1.0, 0.5 en 0.25) en verschillende waarden voor α_{bn} en α_{bs} (factoren voor afregeling van het transport langs een helling). Daarnaast is de horizontale diffusiviteit gevarieerd tussen 1 en 80 m²/s.

Belangrijkste parameters waarop is gekalibreerd betreffen de volgende:

1. de grootte van de sedimentatie en erosie na 4 jaar
2. het patroon van sedimentatie en erosie na 4 jaar
3. de totale baggerhoeveelheid gemiddeld per jaar
4. de volumeveranderingen in de macro-cellen.

Een transportfactor van 0.5, een α_{bn} van 100 en een horizontale diffusiviteit van 1 m²/s leverden hierbij redelijk goede resultaten op. Toepassing van Chezy in plaats van Manning gaf een kleine verbetering van het berekende sedimentatie-erosie patroon.

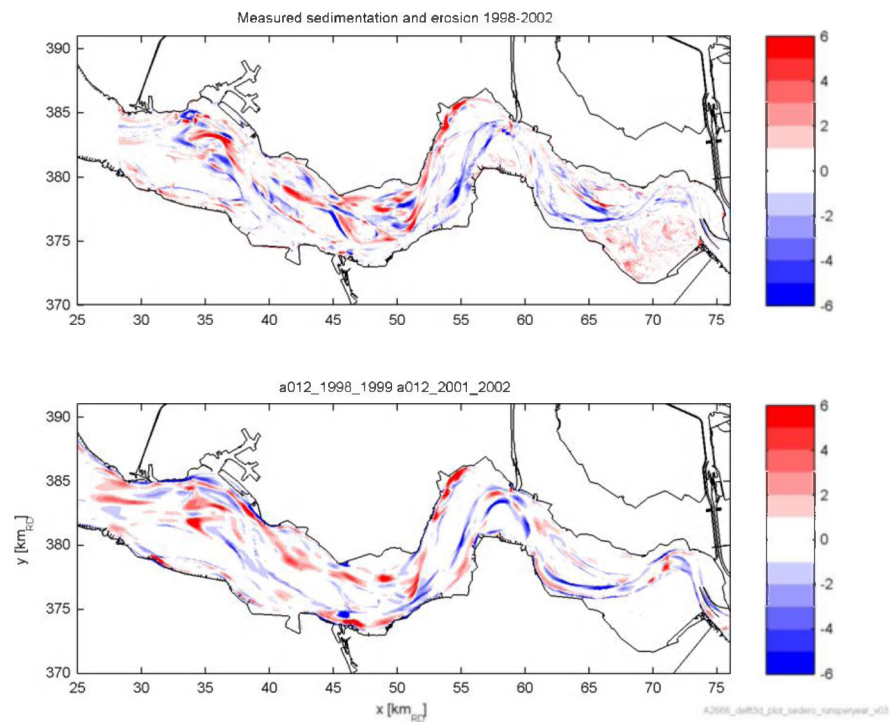
4.3

VERGELIJKING BEREKEND EN GEMETEN SEDIMENTATIE/EROSIE PATROON

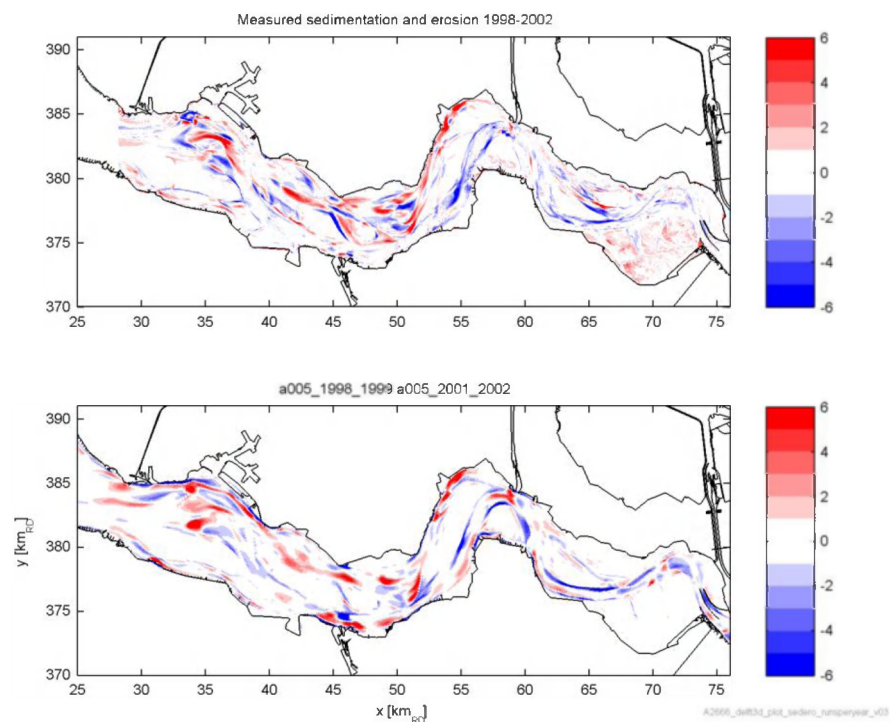
Het bovenste paneel in Figuur 12 toont de gemeten bodemveranderingen tussen 1998 en 2002. Het onderste paneel toont de berekende veranderingen uit de finale kalibratie-run met de Van Rijn transport formuleringen.

Figuur 12

Gemeten en berekende sedimentatie en erosie van 1998 t/m 2002.
Berekeningen met Van Rijn (2007) transportmodule

**Figuur 13**

Gemeten en berekende sedimentatie en erosie van 1998 t/m 2002.
Berekeningen met Englund-Hansen transportmodule



Ter vergelijking toont Figuur 13 het gemeten sedimentatie/erosie patroon samen met het berekend patroon volgens de simulaties met de Engelund-Hansen transport formuleringen. De berekende grootte van de sedimentatie en erosie is vergelijkbaar met die uit de simulaties met de Van Rijn transport formuleringen. Ook de patronen zijn vergelijkbaar. Ook Kuijper et al. (2006) vonden grote overeenkomsten tussen de simulaties met de Van Rijn formuleringen en die met de Engelund-Hansen formuleringen.

Hoewel de sedimentatie en erosie patronen redelijk overeenkomen bleek het model bij gebruikmaking van de Engelund-Hansen formuleringen de volumeveranderingen in de bochtgroepen (macrocellen) iets minder goed te voorspellen (niet getoond).

4.4

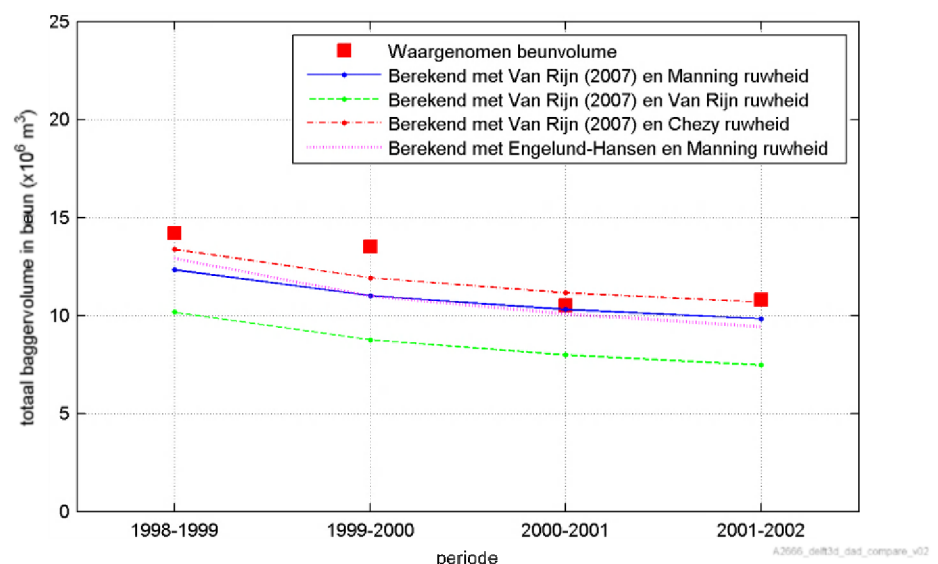
VERGELIJKING BAGGERVOLUMES

De totale berekende bagger volumes in de Westerschelde van de drempel van Vlissingen tot de grens tussen Nederland en Vlaanderen zijn vergeleken met de waargenomen bagger volumes. Voor de omrekening van in-situ naar beunvolumes is een factor 1,12 gehanteerd.

Figuur 14 toont de waargenomen en berekende bagger volumes per jaar voor simulaties met de Van Rijn (2007) transportformuleringen en drie verschillende ruwheidsinstellingen en met de Engelund-Hansen transport formuleringen en Manning ruwheid. De berekende afnemende trend in het totale Westerscheldebagger volume is voor alle vier de simulaties in overeenstemming met de waarnemingen.

Figuur 14

Totale jaarlijkse bagger volumes in de Westerschelde (beunvolumes)



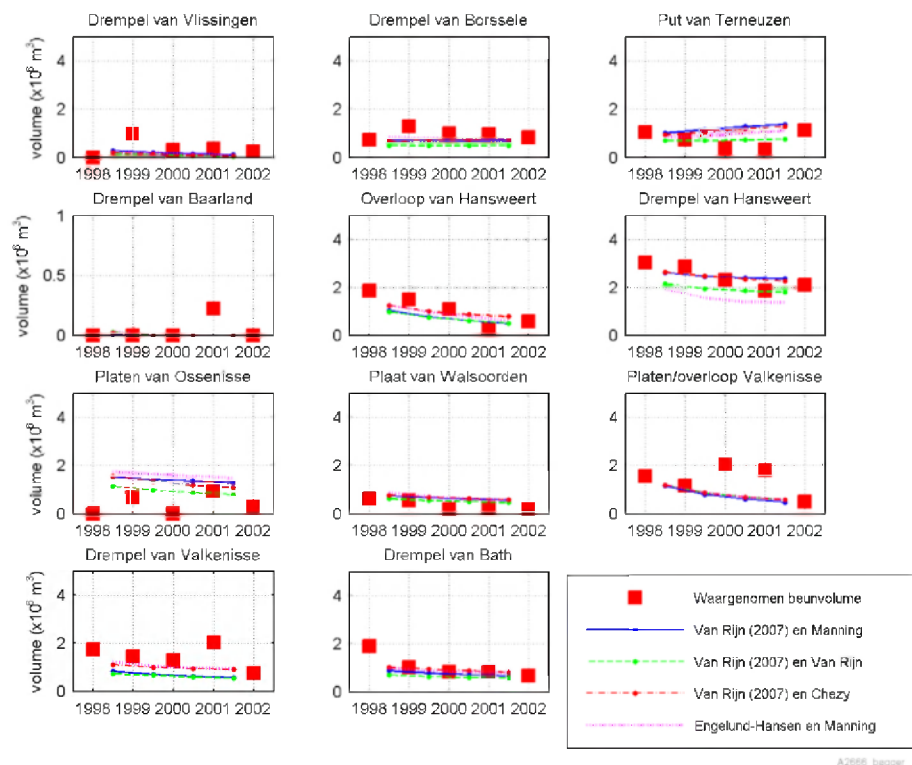
De bagger volumes berekend met Van Rijn (2007) en een Manning ruwheid zijn gemiddeld 10% lager dan de waargenomen volumes en de $r^2 = 0,82$, die met een Van Rijn transport en Van Rijn ruwheid 30% lager en de $r^2 = 0,82$, en die met een Van Rijn transport en Chezy ruwheid 3% lager en de $r^2 = 0,81$. De bagger volumes met Engelund-Hansen en Manning ruwheid zijn 11% lager dan waargenomen en de $r^2 = 0,80$.

De baggervolumes voor de afzonderlijke locaties in de Westerschelde zijn weergegeven in Figuur 15. De grootte en trends van de baggervolumes worden over het algemeen goed voorspeld. Het model overschat de waargenomen baggervolumes bij de Platen van Ossensisse en onderschat de volumes bij de Drempel van Valkenisse.

Over het algemeen zijn er de verschillen tussen de modelsimulaties betrekkelijk klein. Opvallende verschillen tussen de modelsimulaties zijn met name te zien bij de Drempel van Hansweert waar het Van Rijn (2007) transport model een betere schatting van het baggervolume geeft dan Engelund-Hansen.

Figuur 15

Jaarlijks waargenomen en berekende baggervolumes voor verschillende locaties in de Westerschelde



4.5

VERGELIJK MET FINEL2D UITKOMSTEN

Morfologische simulaties voor de periode 1998-2002 zijn eveneens uitgevoerd met het Finel2D model (Dam, 2012a). Figuur 16 toont de gemeten bodemontwikkeling en de berekende ontwikkelingen voor beide modellen. Deze figuur laat zien dat beide modellen ongeveer even goed presteren. De berekende patronen zijn min of meer vergelijkbaar. In sommige gebieden presteert Delft3D beter, in andere Finel2D.

Tabel 6 toont de totale waargenomen baggervolumes in de Westerschelde van de drempel van Vlissingen tot de grens tussen Nederland en Vlaanderen en de door beide modellen berekende baggervolumes. Beide modellen tonen, in overeenstemming met de waarnemingen, een afnemend baggervolume in de tijd. Beide modellen berekenen een iets lager totaal baggervolume dan waargenomen.

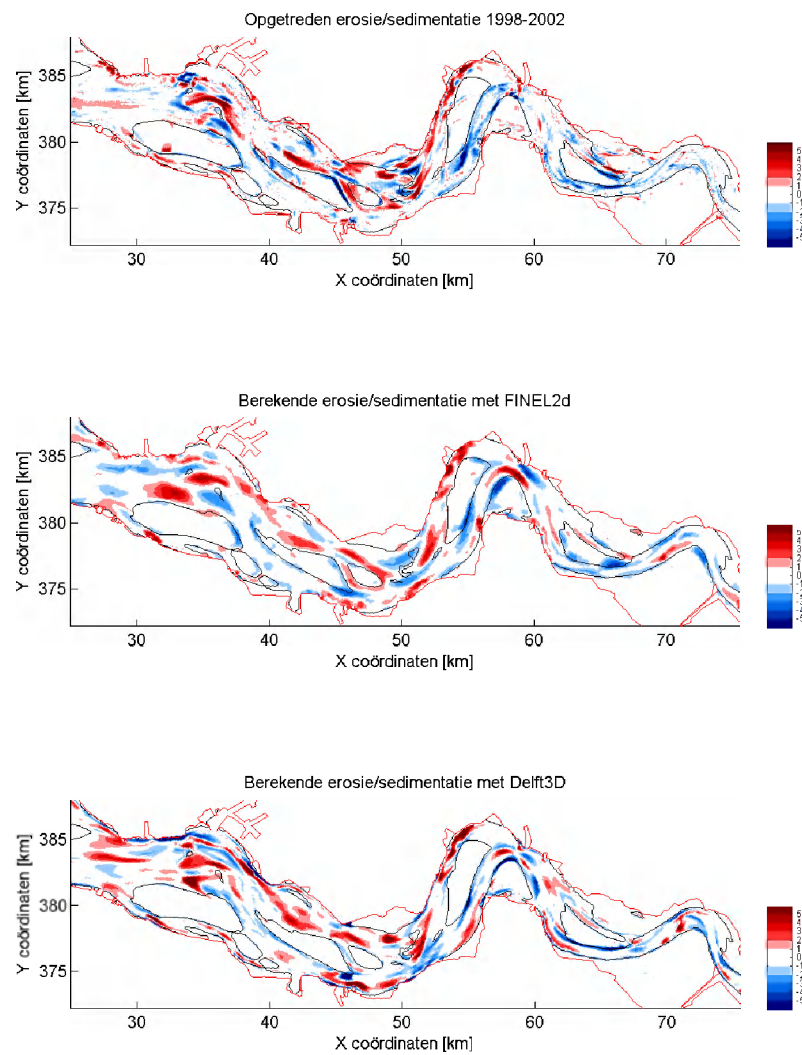
Tabel 6

Waargenomen en
berekende totale
bagervolumes

Jaar	Waargenomen	Delft3D	Finel2D
1998	14,2	12,3	12,4
1999	13,5	11,0	12,2
2000	10,5	10,3	9,0
2001	10,8	9,8	11,5

Figuur 16

Erosie/sedimentatie
gemeten en berekend met
Finel en Delft3D voor de
periode 1998-2002.



HOOFDSTUK 5

Invloed van golven

5.1

INLEIDING

In hoofdstuk 3 is de schematisatie en validatie van het Delft3D model besproken, waarbij nog geen rekening is gehouden met de invloed van golven op de morfodynamiek. Aangezien het Schelde estuarium in een open verbinding staat met de Noordzee, kunnen golven het estuarium binnendringen. Daarnaast kunnen golven in het estuarium worden opgewekt door de wind. Gezien de morfologie en plaatdynamiek van het estuarium, is het aannemelijk dat golven van invloed zijn op de morfodynamiek van het gebied.

Modelstudies naar de invloed van golven op de morfodynamiek zijn eerder uitgevoerd door Van der Kaaij et al. (2004) en Kuijper et al. (2006). Hierbij is steeds één golfklasse toegepast als representatief voor het golfklimaat. Er is aanbevolen een breder spectrum aan golfklassen en de invloed van wind nader te onderzoeken. Op basis van deze aanbevelingen heeft Van Rijn (2012) de invloed van de golfschematisatie en de wind op de berekende morfologische veranderingen in de Westerschelde onderzocht. Dit hoofdstuk presenteert een samenvatting van dit werk.

5.2

BASISINSTELLINGEN GOLFMODEL

Om golven toe te passen in het model wordt naast Delft3D FLOW module de Delft3D WAVE module gebruikt, welke gelijk is aan het SWAN model.

Hieronder volgen de basis instellingen van het golfmodel;

- Er is sprake van 'online' golf – stroming interactie.
- Er wordt gebruik gemaakt van hetzelfde grid als in de stromingsstudie.
- De golfrandvoorwaarden worden opgelegd op de open zee-rand en worden constant gehouden langs de rand.
- Er wordt gebruik gemaakt van het JONSWAP spectrum, met *peak enhancement factor* = 3.3.
- De spectraal resolutie is $0^\circ - 360^\circ$, waarbij gebruik wordt gemaakt van 36 zogenaamde *directional bins*.
- De frequentie variatie is 0.05 Hz – 1 Hz, waarbij 24 *bins* worden gebruikt.
- Golf opwekking als gevolg van interactie tussen golven is ook geïmplementeerd, waarbij $\alpha = 0.1$ en $\beta = 2.2$ als instellingen zijn gebruikt.
- Dissipatie van golfenergie is geïmplementeerd doormiddel van golfbreking en bodemwrijving.
- Diffractie is niet in het model opgenomen.

5.3

RANDVOORWAARDEN

Golven worden in het model toegevoegd door een wind- en golfklimaat op de open zeeranden toe te voegen. Aangezien wind (en daardoor ook het golfklimaat) sterk tijdsafhankelijk kan zijn, is het van belang om een nauwkeurige schematisatie te gebruiken. Als eerste stap worden tijdseries van de wind,- en golfcondities verkregen vanuit drie observatiestations: Schouwenbank (voor golfhoogte, opzet, windrichting en windsnelheid), Europlatform (golfrichting) en Vlissingen (windsnelheid reductie factor, t.o.v. Schouwenbank, $f_{wind} = 0.9$). Vervolgens worden de windrichting en windsnelheid onderverdeeld in klassen. Voor elk van deze klassen worden vervolgens de gemiddelde windcondities, golfcondities en opzet berekend.

5.3.1

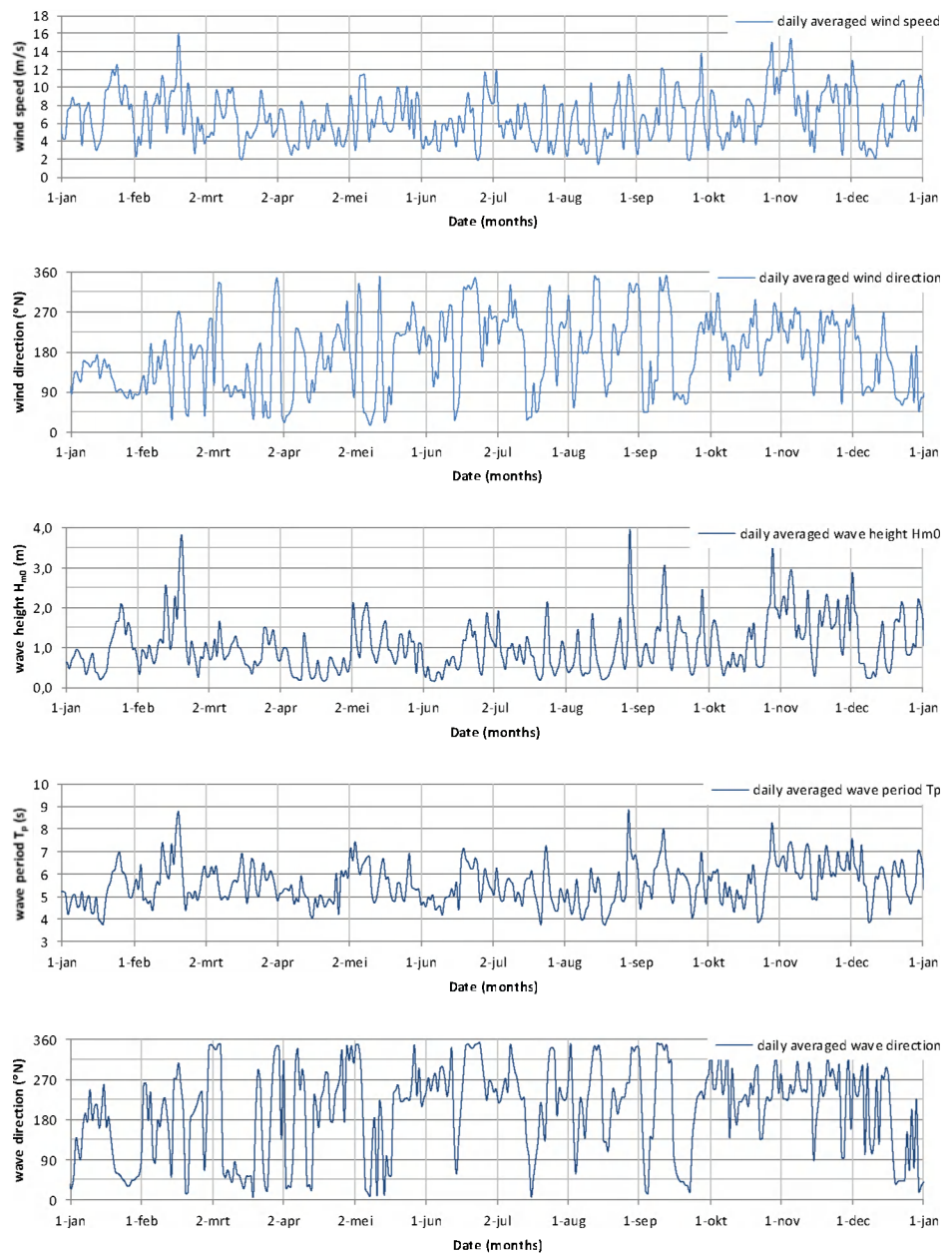
WIND EN GOLFKLIMAAT SCHEMATISATIE

Ter illustratie toont figuur 17 een gedeelte van de tijdseries (1 jaar Schouwenbank) die zijn gebruikt voor de schematisatie van het wind en golfklimaat. In totaal is de wind- en golfschematisatie gebaseerd op tijdseries tussen 1 januari 1981 en 1 januari 2001. Van Rijn (2012) presenteert de complete tijdseries.

Figuur 18 toont de klasse-onderverdeling in een zogenaamde windroos. Elke roos is onderverdeeld in twaalf windrichtingsectoren van 30°. Elke sector is weer onderverdeeld in zes windsnelheid klassen met een bereik van 5 m/s en een totaal bereik van 0 m/s – 30 m/s. Hypothetisch gezien kan het windveld op deze manier worden onderverdeeld in maximaal 72 klassen. Voor elke klasse zijn de corresponderende gemiddeld gemeten waarden van de wind, golf en stormcondities berekend, die worden weergegeven door middel van de kleuren. Het windveld voor de Westerschelde kan op deze manier worden onderverdeeld in 54 klassen. De getoonde golfklimaten kunnen vervolgens worden opgelegd op de zeerland van het model.

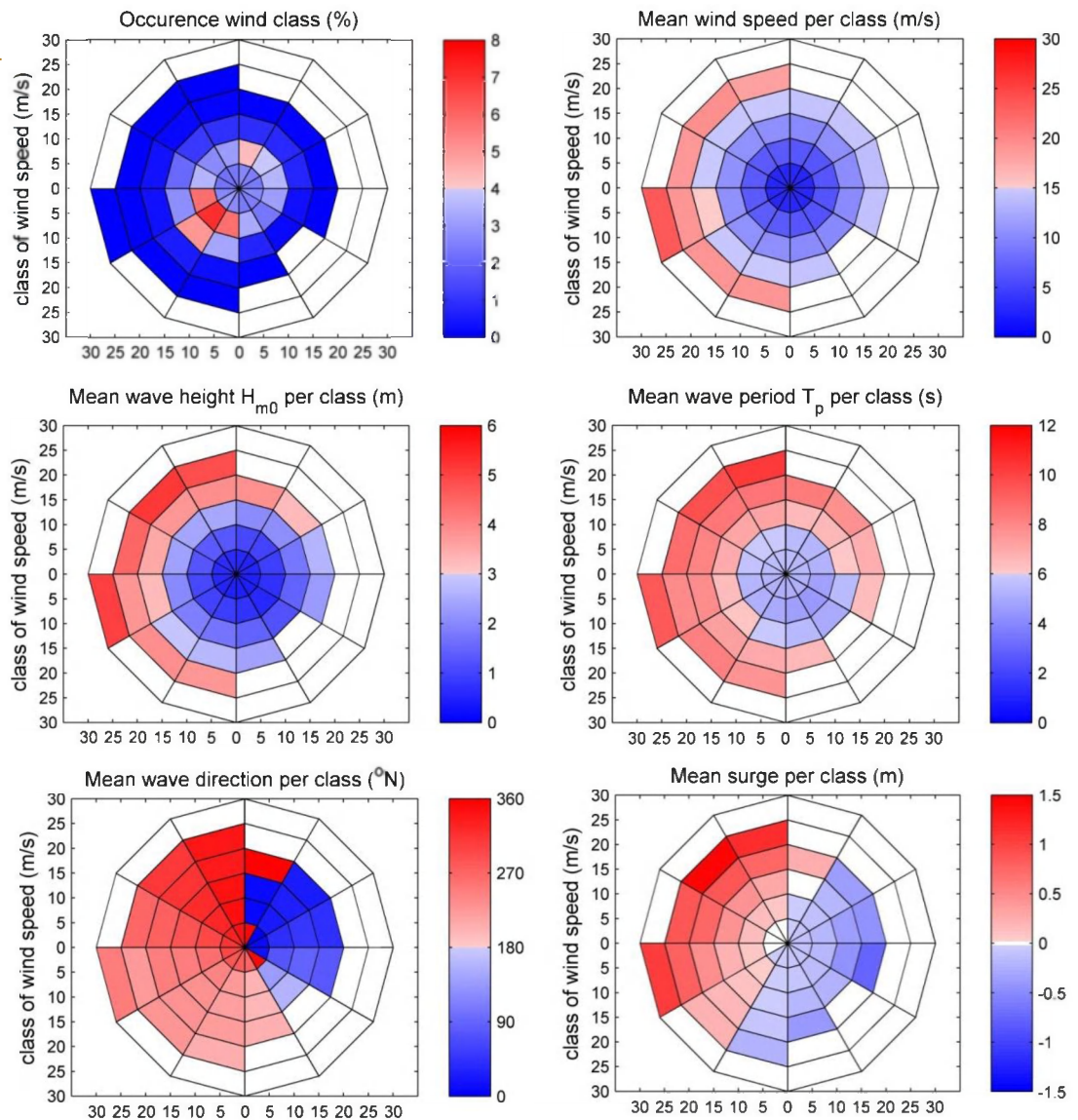
Figuur 17

Tijdseries van dagelijks gemiddelde windcondities (bovenste twee panelen) en dagelijks gemiddelde golfcondities (onderste drie panelen). Periode tussen 1 januari 1996 en 1 januari 1997 bij Schouwenbank.



Figuur 18

Wind, golf en stormklimaat bij Schouwenbank, onderverdeeld per klasse. Bovenste twee figuren tonen het wind klimaat. De middelste en onderste figuren tonen het golf en stormklimaat. De klimaten zijn gebaseerd op tijdseries tussen 1 januari 1981 en 1 januari 2001.



5.4

VALIDATIE

Het windveld beschreven in de vorige paragraaf wordt opgelegd op de modelranden. Vervolgens kan het golfmodel worden gevalideerd door de berekende golfhoogtes te vergelijken met de gemeten golfhoogtes. Hiervoor zijn in het model de volgende observatiepunten toegevoegd die overeenkomen met de locatie van de werkelijke meetstations:

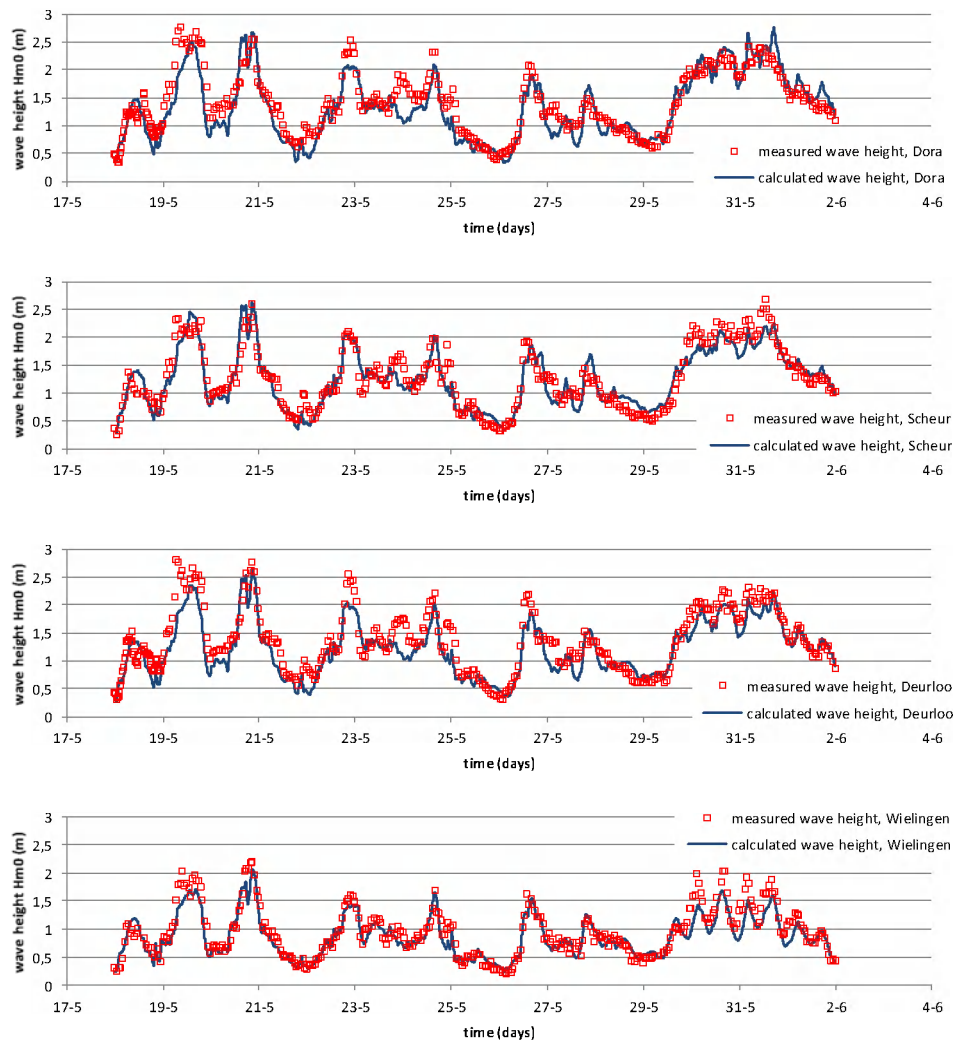
- Domburger Rassen (DORA; zeezijde van de *ebb tidal delta*)
- Deurloo (DELO; zeezijde van de *ebb tidal delta*)
- Scheur West (SCHW; zeezijde van de *ebb tidal delta*)
- Wielingen (WIEL; estuariumzijde van de *ebb tidal delta*)
- Westerschelde Container Terminal (WCT1; in het estuarium)
- Hoofdplaat (HFPL; in het estuarium)
- Pas van Terneuzen (PVT1; in het estuarium)

Voor deze observatiepunten zijn golf,- en windcondities gemeten door de HMCZ boeien (www.hmcz.nl). Door de beschikbaarheid van de tijdseries, is het mogelijk om de gesimuleerde wind,- en golfklimaten te vergelijken met de daadwerkelijk geobserveerde condities. Figuur 19 t/m figuur 22 tonen de berekende en gemeten golfhoogtes en golfperiodes op de stations buiten het estuarium (figuur 19 en figuur 21) en binnen het estuarium (figuur 20 en figuur 22). In deze figuren is te zien dat het model goed in staat is om de golftransformatie van buiten naar binnen en de variatie over het getij te simuleren. Er is op een beperkt aantal momenten een lichte neiging tot onderschatting van de golfhoogte.

Wanneer de correlatie tussen de gemeten en gesimuleerde golfhoogte en golfperiode wordt uitgerekend, dan blijkt dat de correlatie beter is voor de golfhoogte dan voor de golfperiode (zie Van Rijn (2012)). Uit figuur 21 en figuur 22 blijkt dat het model lagere golfperiodes berekent dan in werkelijkheid worden gemeten. Ook Van Vledder (2007) laat zien dat het verschil in golfperiode ongeveer 0.9 s bedraagt. Dit verschil wordt toegeschreven aan een verschil in het frequentiebereik in het spectrum waarop de golfperiodes zijn gebaseerd tussen het SWAN model en de boei-metingen. Daarnaast blijkt dat de golfperiode relatief gevoelig is voor stroming. In gebieden met grote stroomsnelheden zal de golfperiode dus meer worden beïnvloed dan in gebieden met kleine stroomsnelheden.

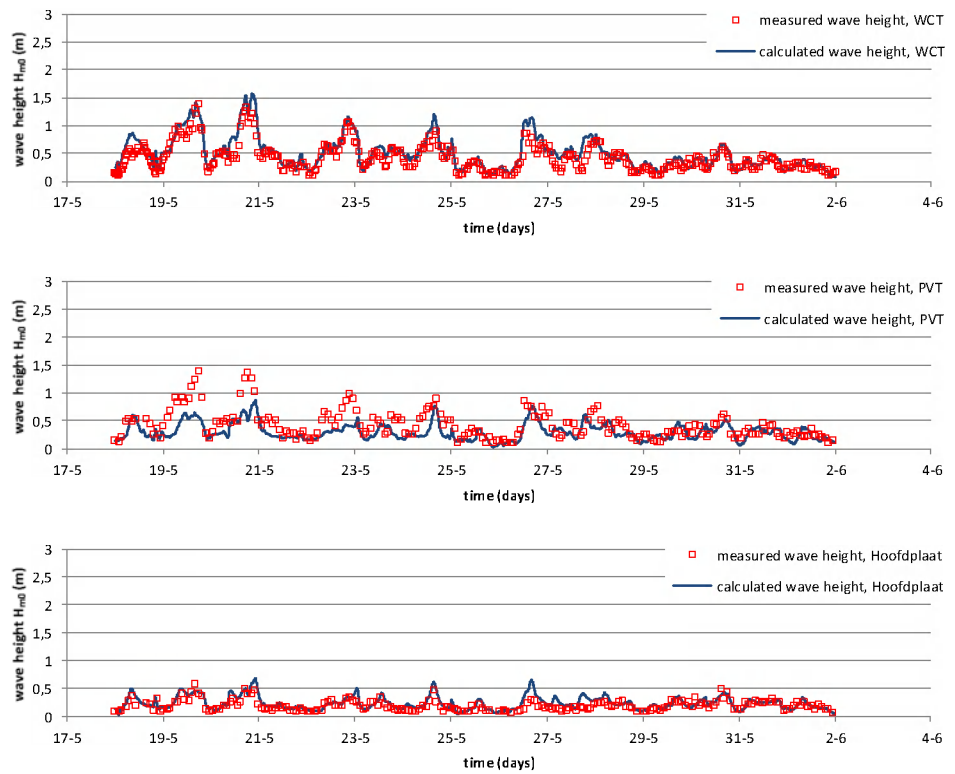
Figuur 19

Vergelijking tussen berekende en gemeten significante golfhoogte H_{m0} in locaties buiten het estuarium.



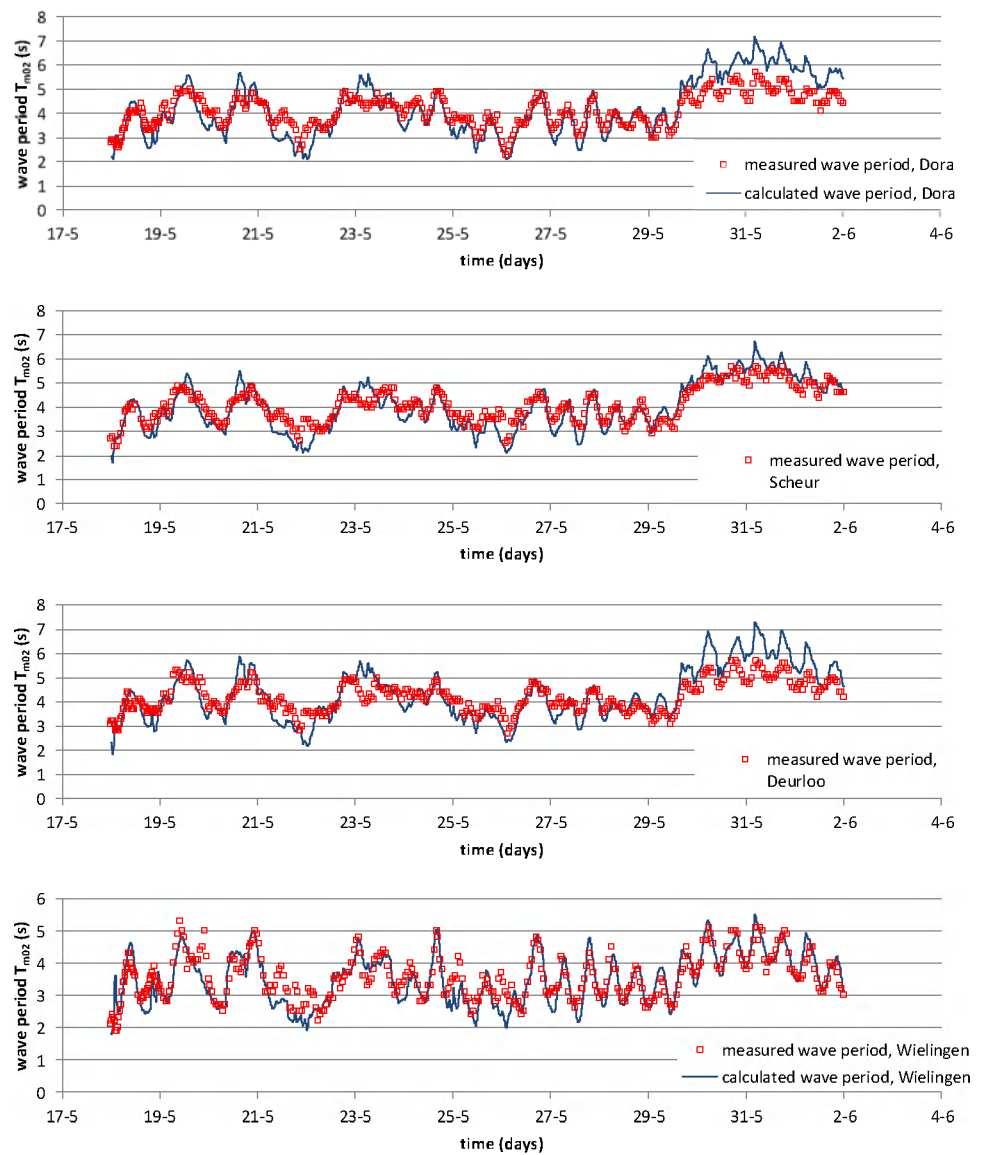
Figuur 20

Vergelijking tussen gesimuleerde en gemeten significante golfhoogte H_{m0} in locaties binnen het estuarium.



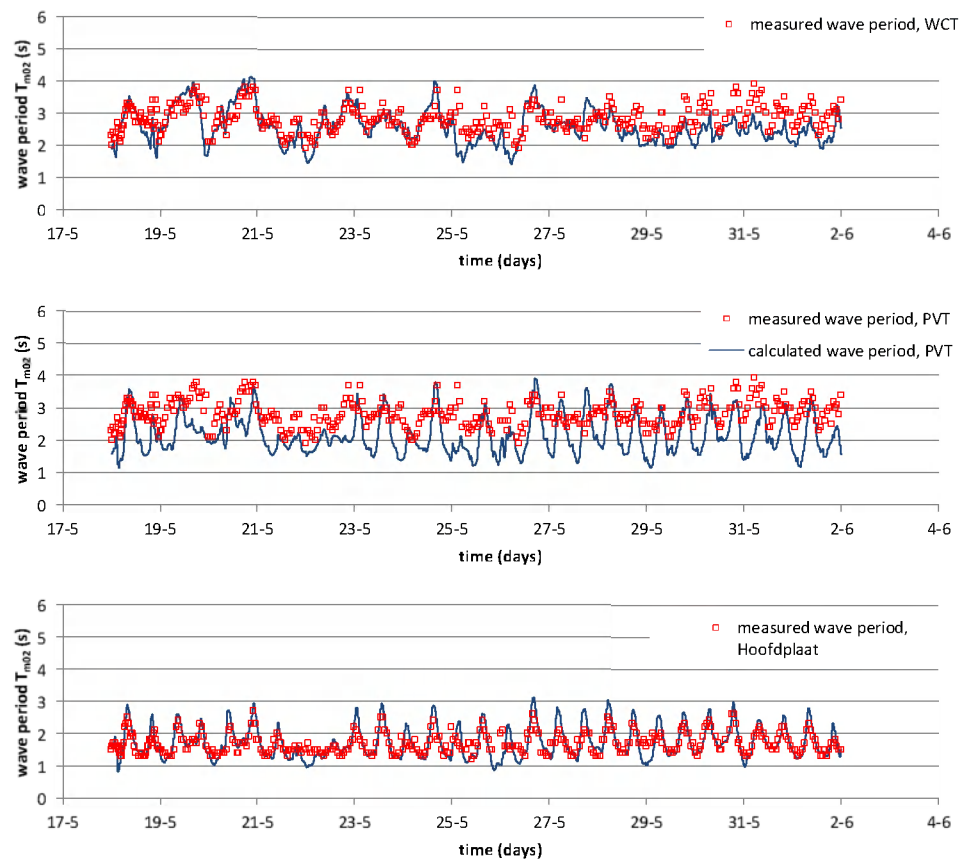
Figuur 21

Vergelijking tussen berekende en gemeten golfperiode T_{m02} in locaties buiten het estuarium.



Figuur 22

Vergelijking tussen gesimuleerde en gemeten golfperiode T_{m02} in locaties in het estuarium.



5.5

OPTIMALISATIE GOLFKLASSES

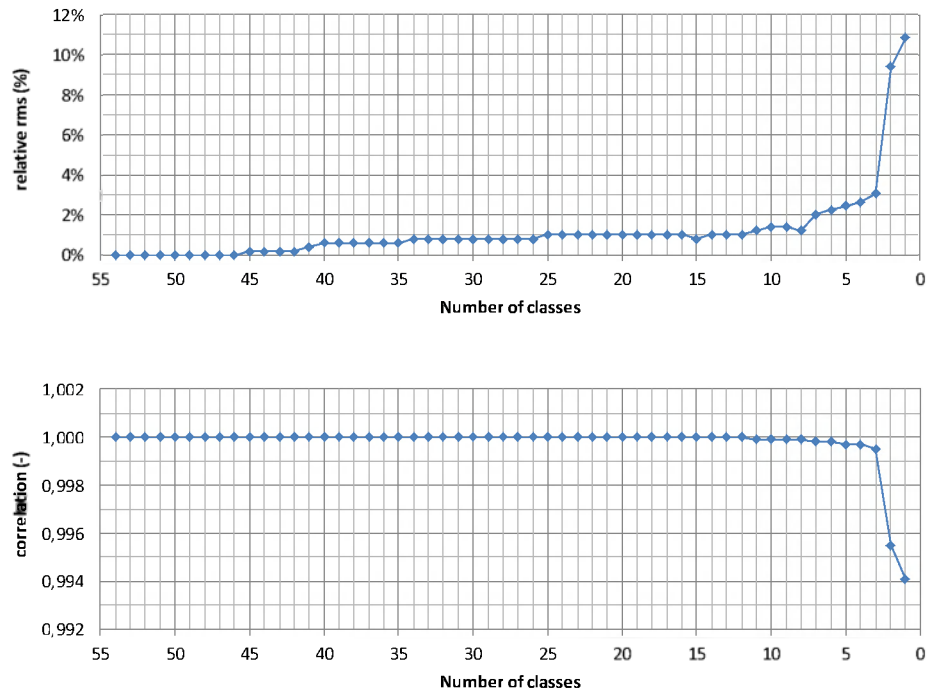
De gemeten wind- en golfcondities voor de Westerschelde kunnen worden geschematiseerd in 54 golfklassen. Door deze schematisatie op te leggen op de randen van het SWAN-model kan het wind- en golfveld voornamelijk ten westen van Terneuzen goed worden gesimuleerd. Voor morfologische berekeningen leidt toepassing van 54 klassen echter tot zeer lange en onwerkbare rekentijden. Voor deze toepassing zou het wenselijk zijn het aantal golfklassen terug te kunnen brengen zonder grote concessies te hoeven doen in modelprestaties.

In deze studie onderzoeken we daarom de invloed van de golfschematisatie op de berekende morfologie. We maken hierbij gebruik van de zogenaamde *Opti methode* en van een correlatie methode (Van Rijn, 2012). Met de *Opti methode* kan door middel van een iteratief proces worden bepaald welke klasse relatief veel en welke klasse relatief weinig bijdraagt aan de (morfo)dynamiek van het systeem. Het doel is om door middel van een gereduceerde schematisatie van het golfklimaat de cumulatieve sedimentatie en erosie patronen die met het complete geschematiseerde golfklimaat worden berekend te reproduceren. De precisie is 1% voor de correlatie coëfficiënt en 10% voor het kwadratisch gemiddelde (root-mean-square), waarbij de resultaten van de complete golfschematisatie als referentie dienen. Het resultaat van het iteratieve proces op de correlatie coëfficiënt en het kwadratisch gemiddelde (rms) is getoond in figuur 23. Hieruit blijkt dat het golfklimaat in

ieder kan worden geschematiseerd tot 15 klassen zonder dat er grote concessies worden gedaan aan de nauwkeurigheid.

Figuur 23

Relatieve rms en correlatie coëfficiënt als functie van de hoeveelheid klassen. De resultaten zijn gebaseerd op 20.000 iteraties



5.6

MORFOLOGIE

Deze sectie presenteert de resultaten van morfologische berekeningen met stroming en met de combinatie van stroming en golven (en wind). Eerst presenteren we de resultaten voor 15 golfklassen en daarna bespreken we het effect van het reduceren van het aantal golfklassen.

5.6.1

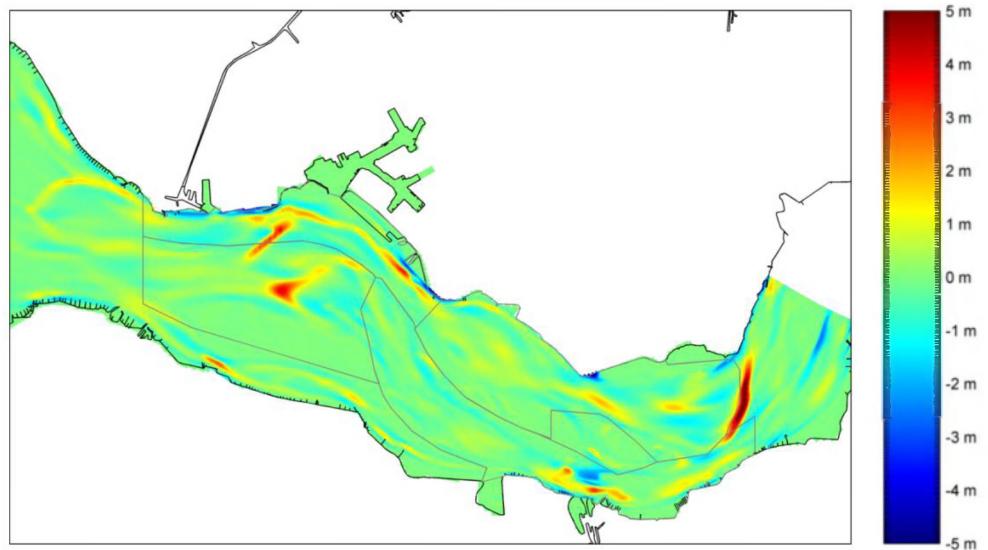
15 GOLFKLASSES

Figuur 24 toont de sedimentatie en erosie patronen voor de berekeningen met stroming en golven. Erosie is het sterkst in gebieden met sterke stroming, zoals bij Terneuzen en bij Honte. Sedimentatie is het sterkst aan de randen van de platen, zoals bij de Spijkerplaat en de platen ten zuiden van Everingen.

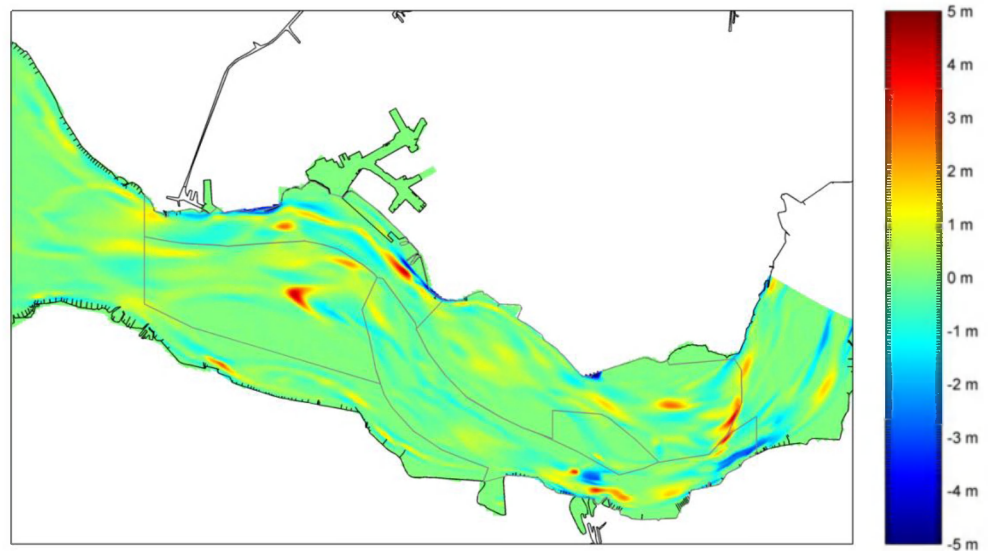
Wanneer de berekeningen met stroming en golven (en wind) worden vergeleken met de resultaten voor alleen stroming dan blijken de sedimentatie en erosie patronen nog steeds redelijk goed overeen te komen (vgl figuur 24 en 25, zie ook figuur 26). De mate van sedimentatie of erosie wordt echter wel versterkt door de aanwezigheid van wind en golven. De grootste verschillen ontstaan bij de lagere delen van de Spijkerplaat en de platen ten zuiden van Everingen.

Figuur 24

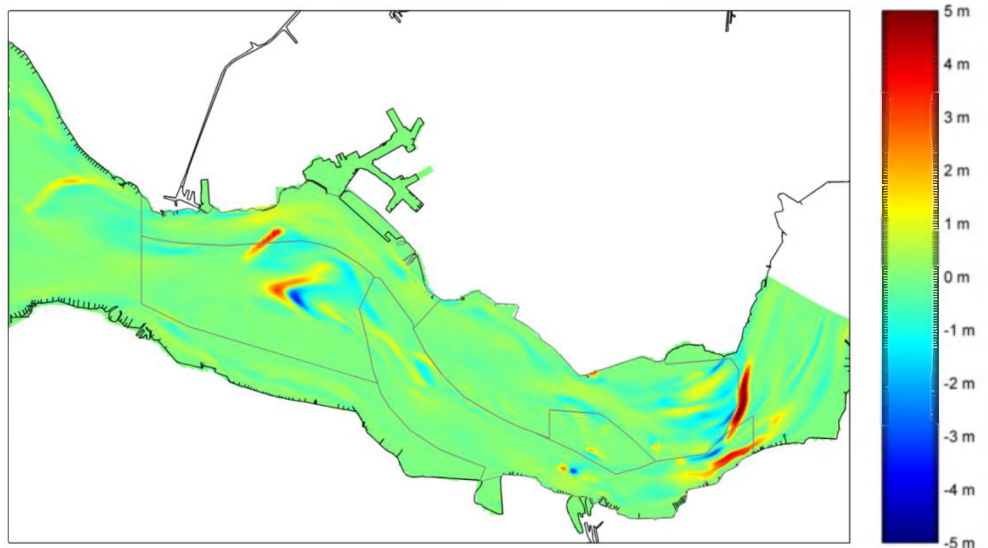
Sedimentatie en erosie patronen wanneer zowel stroming als wind en golven wordt meegenomen in de simulatie.

**Figuur 25**

Sedimentatie en erosie patronen wanneer alleen stroming wordt meegenomen in de simulatie.

**Figuur 26**

Verskil tussen figuur 24 en 25. Rood toont sterkere sedimentatie voor de wind-en-golven-simulatie, blauw toont zwakkere sedimentatie.



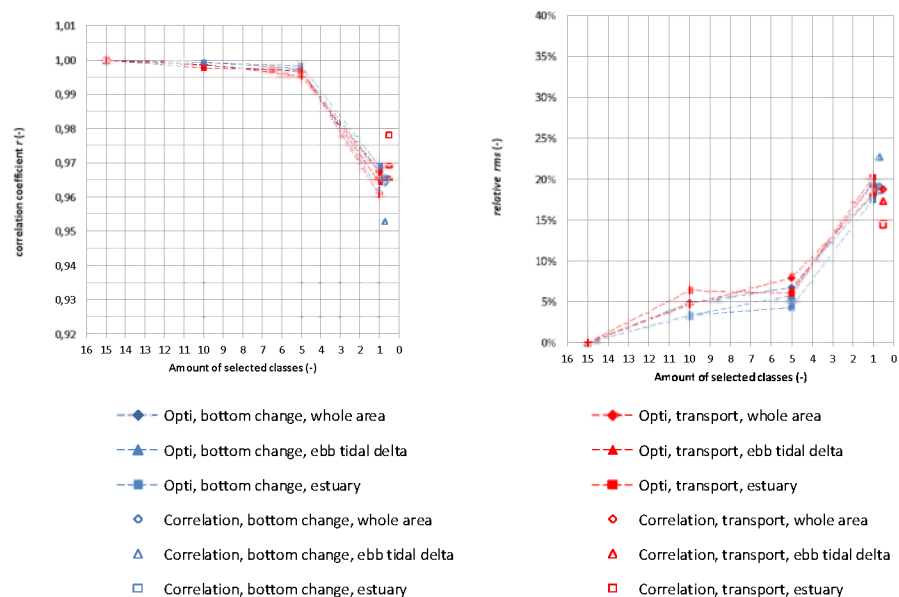
5.6.2

EFFECTEN REDUCTIE GOLFKLASSES

Figuur 27 toont het effect van het reduceren van het aantal golfklassen in meer detail. In deze figuur dient de simulatie met 15 golfklassen als uitgangspunt. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt in optimalisatie van het aantal golfklassen, gebruik makend van de berekende morfologie (linker figuur) of gebruik makend van het berekende sedimenttransport (rechter figuur). Binnen de figuren wordt ook een onderscheid gemaakt in interessegebied. De correlatiecoëfficiënt neemt af en de rms-fout neemt toe wanneer het aantal golfklassen wordt gereduceerd. Dit betekent dat de afwijking toeneemt ten opzichte van de simulatie met 15 klassen.

Figuur 27

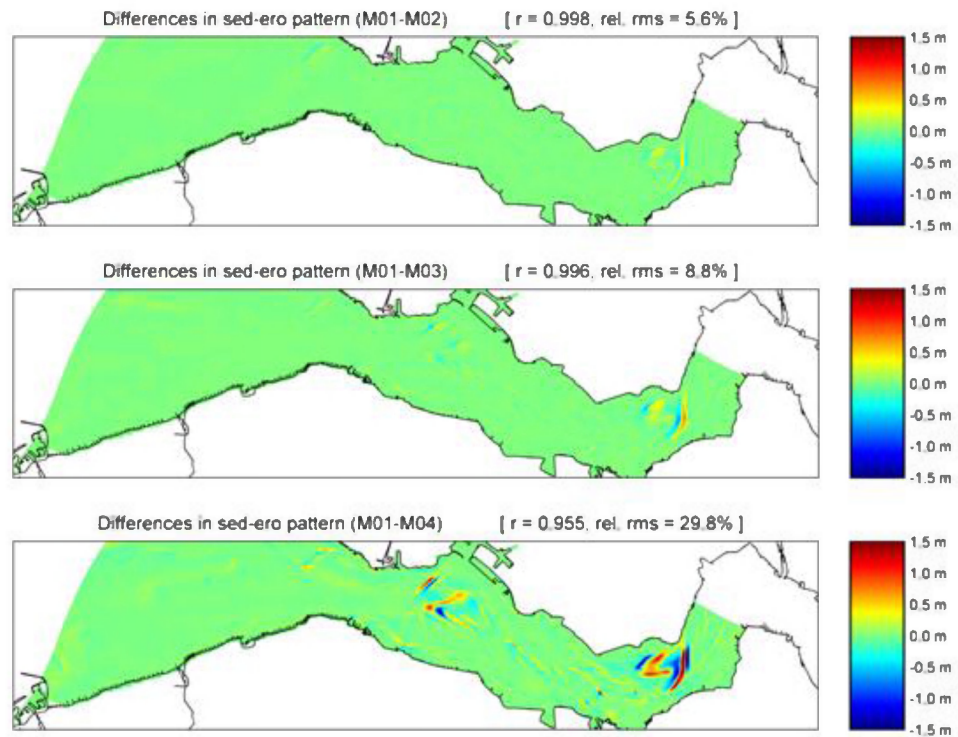
Correlatie coëfficiënt en rms als een functie van het aantal geselecteerde golfklassen. Alle waarden zijn ten opzichte van het uitgangspunt (de 15 klassen simulatie).



Om een beter beeld te krijgen van het effect op de sedimentatie/ erosie van het reduceren van het aantal golfklassen toont figuur 28 het verschil in sedimentatie/ erosie tussen de simulatie met 15 golfklassen en 10 golfklassen (bovenste paneel) tussen 15 en 5 golfklassen (middelste paneel) en tussen 15 en 1 golfklasse (onderste paneel). Ook in deze figuur is duidelijk dat de afwijking toeneemt bij een reductie van het aantal golfklassen. De verschillen zijn het grootst ter hoogte van de platen ten zuiden van de Everingen. Voor de simulatie met 1 golfklasse treden er ook verschillen op ter hoogte van de Spijkerplaat. Het is interessant om te zien dat de root-mean-square fout voor de simulaties met 10 en 5 golfklassen nog betrekkelijk dichtbij elkaar zit (6-9%) terwijl deze fout bij 1 golfklassen ineens omhoog gaat naar 30%. Bijvoorbeeld, een berekende bodemhoogteverandering van 1,0 m met 15 golfklassen kan dan 0,7 of 1,3 m zijn bij 1 golfklasse.

Figuur 28

Sedimentatie en erosie verschillen tussen de simulaties met 15 en 10 golfklassen (M01 en M02), 15 en 5 golfklassen (M01 en M03), en 15 en 1 (M01 en M04).



5.7

CONCLUSIES

Uit de uitgevoerde studie naar de schematisatie van wind en golven in het Delft3D Schelde model, blijkt dat het heersende wind,- en golfklimaat kan worden geschematiseerd tot 15 discrete klassen zonder noemenswaardig verlies in nauwkeurigheid. De afwijking neemt toe bij reductie van het aantal golfklassen. Bij 10 tot 5 klassen is de afwijking 6 tot 9%, bij 1 golfklasse neemt dit toe tot 30%.

HOOFDSTUK

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1

CONCLUSIES

Het NeVla-Delft3D model van het Schelde-estuarium is geactualiseerd op basis van recente optimalisaties in de Simona-schematisatie. Deze zijn overgenomen in Delft3D. De modelresultaten tonen voor de waterbeweging een goede overeenkomst met de resultaten uit de Simona-schematisatie. De NeVla-Delft3D-resultaten liggen iets dichterbij de metingen. Het model is daarmee voldoende betrouwbaar voor de waterbeweging in de monding, de Westerschelde en de Zeeschelde.

De berekende morfologische ontwikkeling in de periode 1998-2002 komt in een groot deel van de Westerschelde goed overeen met de waargenomen ontwikkelingen. Op een aantal locaties wijken de resultaten iets af van de waarnemingen. Deze verschillen zijn soms te verklaren met het effect van golven (dat in de huidige simulaties nog niet is meegenomen), zoals bijvoorbeeld voor de waargenomen erosie aan de westzijde van de Spijkerplaat. Ook de toepassing van één enkele representatieve fractie kan de oorzaak zijn van afwijkingen. Verder is de dikte van de bovenste erodeerbare laag een onzekere factor die een betrekkelijk grote invloed heeft op de modelresultaten.

Het totale berekende baggervolume komt redelijk goed overeen met de werkelijkheid.

Uit de uitgevoerde studie naar het effect van de schematisatie van wind en golven in het Delft3D Schelde model, blijkt dat het heersende wind,- en golfklimaat kan worden geschematiseerd tot 15 discrete klassen zonder noemenswaardig verlies in nauwkeurigheid. De afwijking neemt toe bij reductie van het aantal golfklassen. Bij 10 tot 5 klassen is de afwijking 6 tot 9%, bij 1 golfklasse neemt dit toe tot 30%. De invloed van de golven op de morfologie is het grootst in het westelijke deel van de Schelde. Bij de interpretatie van de resultaten met het NeVla-Delft3D model dient rekening te worden gehouden met deze voorspelbaarheidsbandbreedte voor het effect van golven.

Het model is op de volgende punten verbeterd ten opzichte van de Kuijper et al (2007) schematisatie:

- Verbeterde schematisatie op basis van state-of-the-art waterbewegingsmodel dat recent is geoptimaliseerd (Maximova et al, 2009a, b, c)
- Hogere roosterresolutie
- Bevat ook riviertakken bovenstrooms van Schelle. Debietranden liggen bij meetstations.
- Consistent met LTV-slib-model

6.2

AANBEVELINGEN

Een verdere verbetering is te verwachten door toepassing van meerdere sedimentfracties. In het oostelijk deel is het sediment enigszins fijner dan in het westelijk deel.

Door op meer detailniveau 3D simulaties te maken van daadwerkelijke stortingen kan na worden gegaan in welke mate het model in staat is deze morfologische veranderingen op kleinere tijd- en ruimteschaal te simuleren.

Referenties

- Dam, G., 2012a, Actualisatie van het FINEL2d model van de Westerschelde. Rapport 1630/U11274/GD/D, Svašek Hydraulics
- Dam, G., 2012b, Update niet-erodeerbare lagen kartering Westerschelde, U12072/1630/GD; Svašek Hydraulics
- Gruijters, S.H.L.L., J. Schokker, J.G. Veldkamp, 2004, Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde estuarium, TNO, rapport NITG 03213B1208.
- Kuijper, K., Van der Kaaij, T, De Goede, E., 2006. LTV-O&M actieplan voor morfologisch onderzoek modelinstrumentarium. Rapport Z3950. WL | Delft Hydraulics.
- Maximova, T.; Ides, S.; Vanlede, J.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009a). Verbetering 2D randvoorwaardenmodel. Deelrapport 3: Kalibratie bovenlopen. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium
- Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009b). LTV O&M thema Veiligheid - Deelproject 1: Verbetering hydrodynamisch NeVla model ten behoeve van scenario-analyse. WL Rapporten, 756_05. Flanders Hydraulics Research & Deltares: Antwerp, Belgium
- Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009c). Verbetering randvoorwaardenmodel. Deelrapport 4: Extra aanpassingen Zeeschelde. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium
- Van Eck, G.Th.M., 1999, De ScheldeAtlas, een beeld van een estuarium, Schelde InformatieCentrum.
- Van Rijn, L.C., 2007a. Unified view of sediment transport by currents and waves I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No. 6, 649-667.
- Van Rijn, L.C., 2007b. Unified view of sediment transport by currents and waves II: Suspended transport. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No. 6, 668-689.