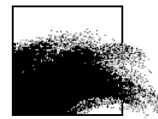




KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT VOOR NATUURWETENSCHAPPEN
OD NATUUR – BEHEERSEENHEID VAN HET MATHEMATISCH MODEL



MONitoring en MOdelling van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperatie (MOMO)

Modellering van een alternatieve stortstrategie voor de onderhoudsbaggerwerken in de voorhaven van Zeebrugge

Technisch rapport

Dries Van den Eynde, Michael Fettweis

MOMO/7/DVDE/201506/NL/TR/1

Inhoudstafel

1.	INLEIDING	3
2.	BESCHRIJVING VAN DE MODELLERING	4
2.1.	TOEGEPASTE MODELLEN	4
2.1.1.	<i>Hydrodynamisch model</i>	4
2.1.2.	<i>Golfmodel</i>	4
2.1.3.	<i>Sedimenttransportmodel</i>	5
2.2.	OVERZICHT VAN DE SIMULATIES	5
3.	RESULTATEN	9
3.1.	INVLOED VAN STORTOPERATIES OP S2	9
3.2.	INVLOED VAN STORTOPERATIE OP ZEEBRUGGE-WEST	10
4.	CONCLUSIES	15
5.	REFERENTIES	16

I. Inleiding

In dit rapport wordt de modellering beschreven van de SPM concentratie tengevolge van stortingen op B&W Zeebrugge Oost en Zeebrugge West. De modelresultaten worden getoond in de locaties WZ-boei en MOW1. Tijdens de terreinproef werd gedurende de periode van 30 september tot 3 oktober en vervolgens van 21 oktober tot 20 november gestort op een alternatieve stortplaats Zeebrugge-West, die op ongeveer een gelijkaardige afstand van de mond van de haven van Zeebrugge gelegen is als de stortplaats Zeebrugge-Oost, maar ten westen ervan is gelegen. De bedoeling is na te gaan of in de simulaties de concentratie ter hoogte van MOW1 en van de WZ-boei, waar meetapparatuur was ingezet (zie Fettweis et al., 2015) sterk beïnvloed wordt door de verandering van stortplaats.

In een eerste deel worden de toegepaste modellen en de uitgevoerde simulaties beschreven. In een volgend deel worden de resultaten besproken. De conclusies worden geformuleerd in een laatste sectie.

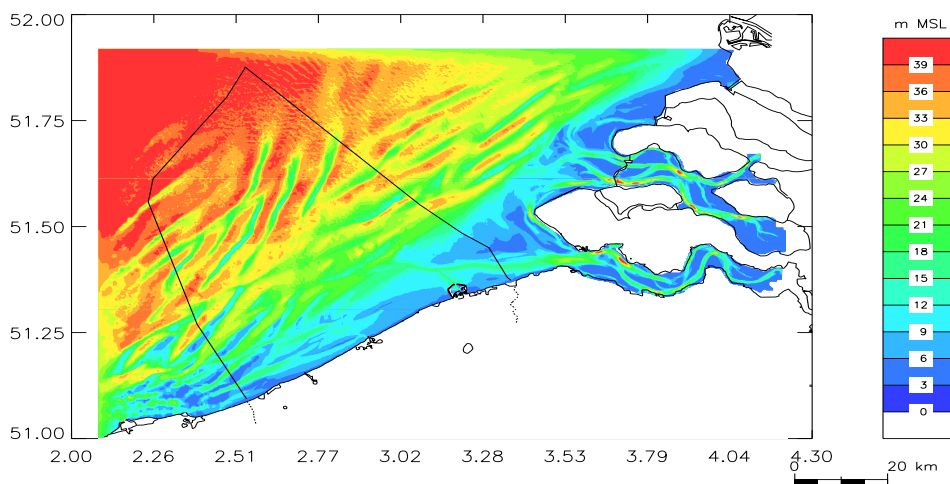
2. Beschrijving van de modellering

2.1. Toegepaste modellen

Voor de modellering van de materie in suspensie voor de Belgische kust worden drie modellen toegepast: een hydrodynamisch model om de stromingen te berekenen, een golfmodel om de golven te berekenen en een sedimenttransportmodel om de verspreiding van het in zee gestorte materiaal te modelleren. De verschillende modellen worden hier kort beschreven.

2.1.1. Hydrodynamisch model

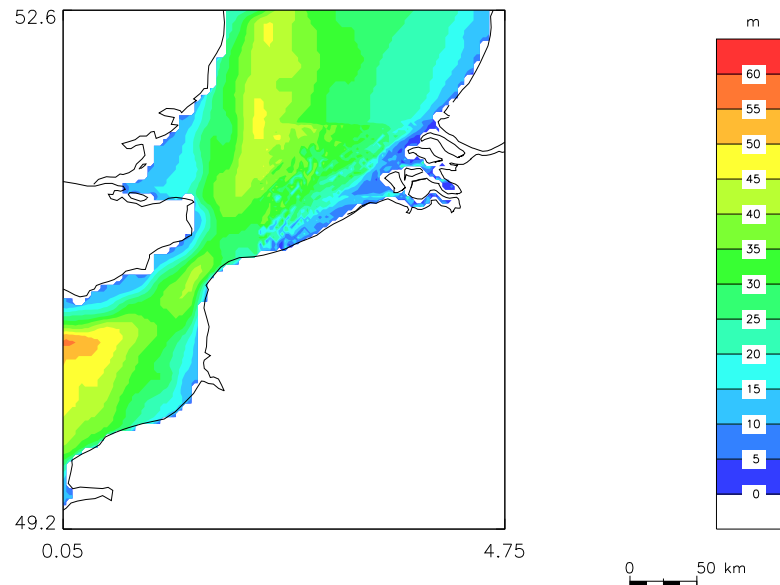
De stromingen worden berekend met het hydrodynamische model OMN_BCZ. Het model is een twee-dimensionaal hydrodynamisch model, dat gebaseerd is op het semi-impliciete ADI-schema. Het model is geïmplementeerd op het Belgische Continentale Plat met een resolutie van 278 m x 257 m. De bathymetrie van het model wordt voorgesteld in Figuur 1. Het model omvat het gehele Belgische Continentale Plat en een deel van de Westerschelde. Het model is langs de open randvoorwaarden gekoppeld met een twee-dimensionale model voor de gehele Noordwest-Europese Continentale Plat, met een rooster van ongeveer 4 km x 4 km.



Figuur 1: Bathymetrie van het hydrodynamische model OMN-BCZ.

2.1.2. Golfmodel

De golven werden berekend met het 3^{de} generatie golfmodel WAM. Het model berekent de significante golfhoogte, golfrequentie en golfrichting met een resolutie van 2,33 x 2,47 km in de zuidelijke Noordzee, zie de bathymetrie in Figuur 2. Het model is langs de open randen gekoppeld met een model voor de centrale Noordzee (resolutie ongeveer 6,7 x 7,4 km) en met een model voor de gehele Noordzee (resolutie ongeveer 28 km x 33 km). Het model wordt onlangs uitgebreid gevalideerd (Van den Eynde, 2013).



Figuur 2: Bathymetrie van het fijn-mazige golfmodel WAM-LOCL.

2.1.3. Sedimenttransportmodel

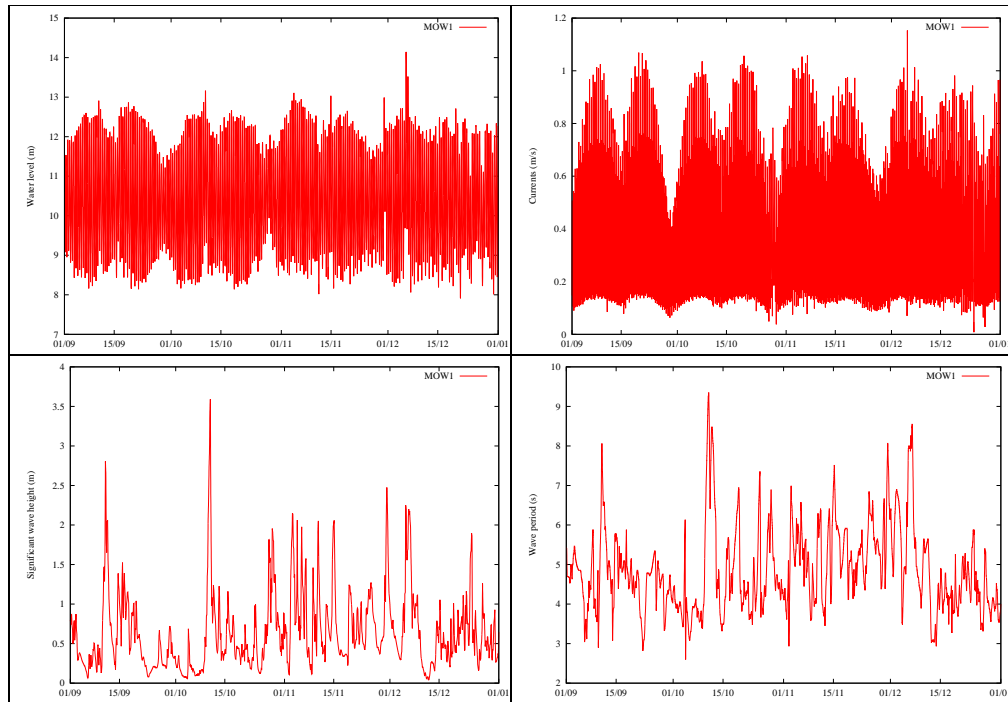
Voor het berekenen van het transport aan fijnkorrelig materiaal werd gebruik gemaakt van het MU-STM model, een 2D sedimenttransportmodel dat de advectie en diffusie van het materiaal in suspensie berekent, te samen met de depositie op de bodem en de resuspensie van de bodem. Het model maakt gebruik van een 2^{de} orde momentenmethode voor de berekening van de advectie, wat een kleine numerieke diffusie met zich meebrengt. Het model werd onder ander door Fettweis & Van den Eynde (2003) toegepast voor de simulatie van de sedimentbalans op het Belgisch Continentale Plat.

2.2. *Overzicht van de simulaties*

De simulaties werden uitgevoerd voor de periode 01/09/2013 tot 01/01/2014. De waterhoogtes, stromingen, significante golfhoogte en golfperiode ter hoogte van het output punt MOW1 worden voorgesteld in Figuur 3. De verschillende spring-tijd doortij cycli zijn duidelijk merkbaar in de totale waterdiepte. De over-de-diepte-gemiddelde stroomsnelheid kan tot 1 m/s worden tijdens springtij, tijdens doortij blijft de maximale stroming beperkt tot 0,5 tot 0,7 m/s. De significante golfhoogte is relatief hoog gedurende de periode, waarbij de significante golfhoogtes regelmatig hoger is dan 2 m. De hoogste pieken zijn op 10 oktober (3.591 m), 9 september (2.806 m) en 30 november (2.475 m).

Gedurende deze periode werd deels op de stortplaats B&W Zeebrugge-Oost gestort, met uitzondering van de periode van 30 september tot 3 oktober en van 21 oktober tot 20 november waar op de alternatieve stortplaats Zeebrugge-West werd

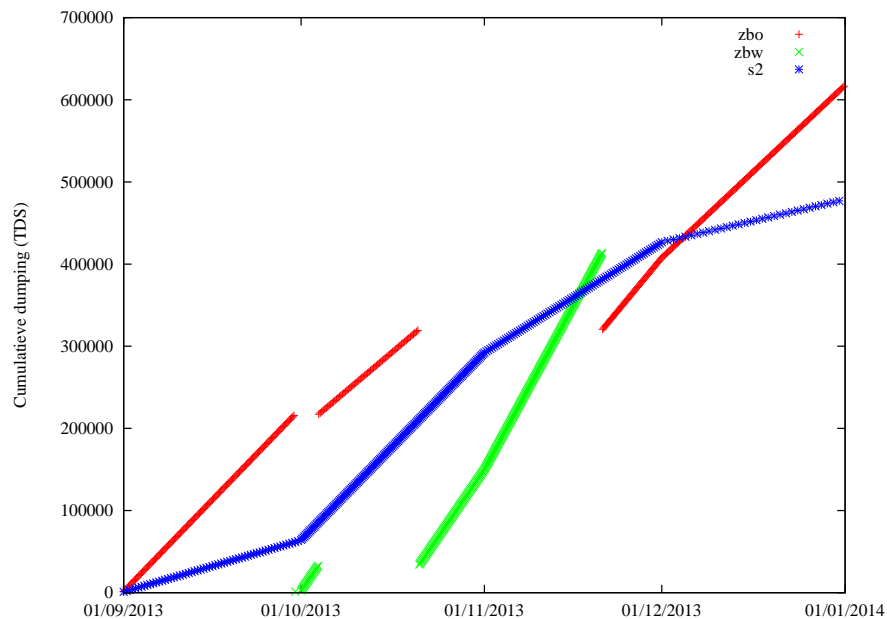
gestort. In Tabel 1 wordt de hoeveelheid gestort materiaal op de verschillende stortplaatsen gedurende deze periode weergegeven. Gedurende deze periode werd ervan uitgegaan dat één storting steeds tussen 1350 ton droge stof (TDS) en 1680 TDS uitmaakte en werd het aantal stortingen per dag gevarieerd tussen 1 storting per dag tot 10 stortingen per dag, zodat de totale hoeveelheid gestort materiaal per maand overeenkomt met de hoeveelheid in de tabel. Enkel de stortingen op S2, Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West werden in rekening gebracht. De cumulatieve hoeveelheid materiaal gestort wordt voorgesteld in Figuur 4. De lokatie van de drie stortplaatsen wordt geïllustreerd in Figuur 5.



Figuur 3: Totale waterdiepte (links-boven), over-de-diepte-gemiddelde stroming (rechts-boven), significante golfhoogte (links-onder) en golfperiode (rechts-onder) gedurende de periode 1/9/2013-1/1/2014 ter hoogte van het punt MOW1.

Tabel 1: Gestort materiaal in de periode september-december 2013 (in ton droge stof (TDS)).

Stortplaats	Sep	Okt	Nov	Dec	Tot
Oostende	129108	157814	0	0	286922
S1	61448	493011	502798	66707	1123964
S2	62765	228024	134107	52086	476982
Zeebrugge-Oost	217770	103488	86920	210123	616301
Zeebrugge-West	1375	147250	264974	0	413599

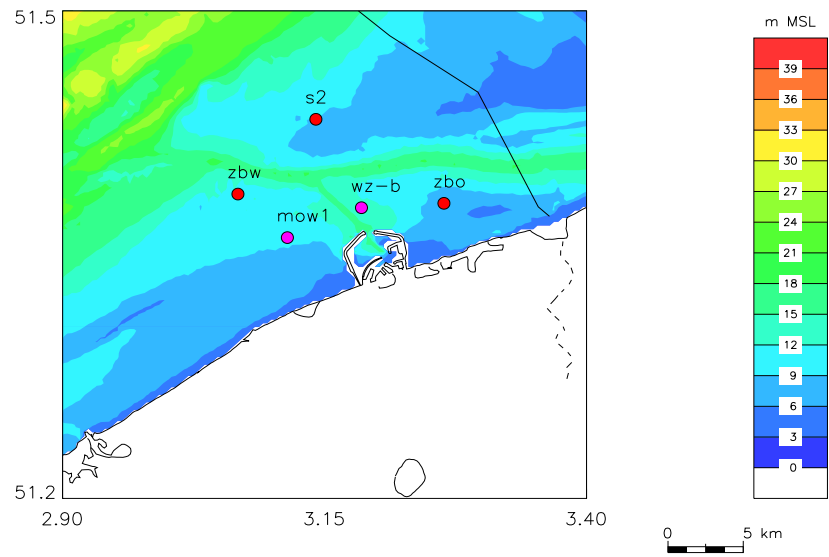


Figuur 4: Cumulatieve hoeveelheid gestort materiaal op de verschillende dumpingssites (in TDS). Zbo: Zeebrugge-Oost, zbw: Zeebrugge-West, s2: S2.

Aangezien de resolutie van het rooster kleiner is dan de grootte van de stortplaats (straal van 750 m), werden de stortingen gespreid over verschillende roosterpunten. Hierbij werd verondersteld dat voor Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West zo dicht mogelijk tegen de haven werd gestort, dus voor Zeebrugge-Oost in het westelijke deel en voor Zeebrugge-West in het oostelijke deel van de stortplaats. Op S2 wordt in het noordelijke deel van de circler vastgelegd, zoals vastgelegd in de definitie van de stortplaats S2.

Twee verschillende scenario's werden doorgerekend. In het eerste scenario werden de stortingen gesimuleerd, zoals deze in de praktijk werden uitgevoerd, namelijk stortingen op stortplaatsen Zeebrugge-Oost, Zeebrugge-West en S2. In de tweede simulatie werd Zeebrugge-West niet gebruikt en alles op Zeebrugge-Oost gestort. De invloed van deze verschillende stortstrategie werd nagegaan door de SPM concentratie in twee locaties (MOW1 meetpaal, en WZ-boei) te vergelijken. Merk op dat in elk van de simulaties enkel rekening gehouden werd met advectie, diffusie, depositie en resuspensie van het materiaal dat op de stortplaatsen werd gedumpt en dat er zich initieel dus geen materiaal in de waterkolom of op de zeebodem bevond. Er werd hier dus geen rekening gehouden met de natuurlijke variaties in SPM concentratie. De gesimuleerde SPM concentraties zijn daardoor een grootte-orde kleiner dan de concentraties die, ter hoogte van Zeebrugge, worden waargenomen. Ze zijn een maat voor de verhoging van de SPM concentratie, als gevolg van de stortoperaties van het gebaggerde materiaal.

Verschuilde modelparameters werden toegepast, zoals verder zal worden uiteengezet. De resultaten van de simulaties worden natuurlijk beïnvloed door de keuze van de sedimentparameters die worden gekozen.



Figuur 5: Positie van de dumpingsites (zbw: Zeebrugge-West, zbo: Zeebrugge-Oost, s2: S2) en van de output punt (mow1: MOW1 meetpaal, wz-b: WZ-boei).

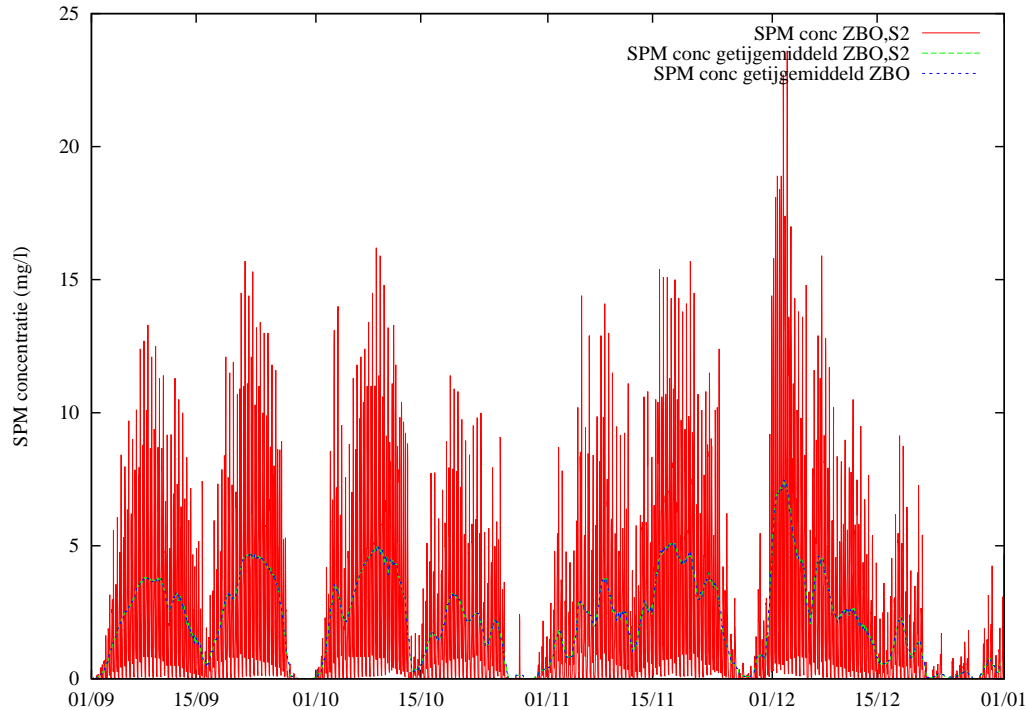
3. Resultaten

3.1. Invloed van stortoperaties op S2

Een eerste simulatie werd uitgevoerd om de invloed van de stortingen op stortplaats S2 op de SPM concentratie ter hoogte van MOW1 of WZ-boei na te gaan. Er werd in deze eerste simulatie geen rekening gehouden met golven. Tijdens het storten werd de helft van het materiaal in suspensie gebracht en de andere helft op de bodem afgezet. De sediment parameters voor deze simulatie 01 worden gegeven in Tabel 2. In Figuur 6 wordt de SPM concentratie voorgesteld ter hoogte van het meetpunt MOW1. De stortingen op S2 blijken in deze simulaties weinig invloed te hebben op de SPM concentraties. Daarom worden in de volgende simulaties enkel de stortingen op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West in rekening gebracht.

Tabel 2: Sedimentparameters voor de verschillende simulaties.

Simulatie	Golven	τ_{DEP} (Pa)	w_s (m/s)	Stortingen bod. (%)
01	Nee	1000	0.002	50
02	Nee	1000	0.002	0
03	Ja	1000	0.002	50
04	Ja	1000	0.002	0
05	Ja	1000	0.001	50
06	Ja	1000	0.001	0
07	Ja	0.5	0.002	50
08	Ja	0.5	0.002	0



Figuur 6: SPM concentratie en getijgemiddelde SPM concentratie bij MOW1 voor simulatie 01 met stortingen op Zeebrugge-Oost (ZBO) en S2, en stortingen op enkel Zeebrugge-Oost.

3.2. Invloed van stortoperatie op Zeebrugge-West

Voor dezelfde simulatie werd in eerste instantie de invloed nagegaan van de tijdelijke stortingen op Zeebrugge-West op de SPM concentraties ter hoogte van MOW1 en de WZ-boei. Deze resultaten worden voorgesteld in Figuur 7. Uit de figuur blijkt duidelijk dat wanneer op Zeebrugge-West wordt gestort de SPM concentratie ter hoogte van de WZ-boei en van MOW1 verlaagt.

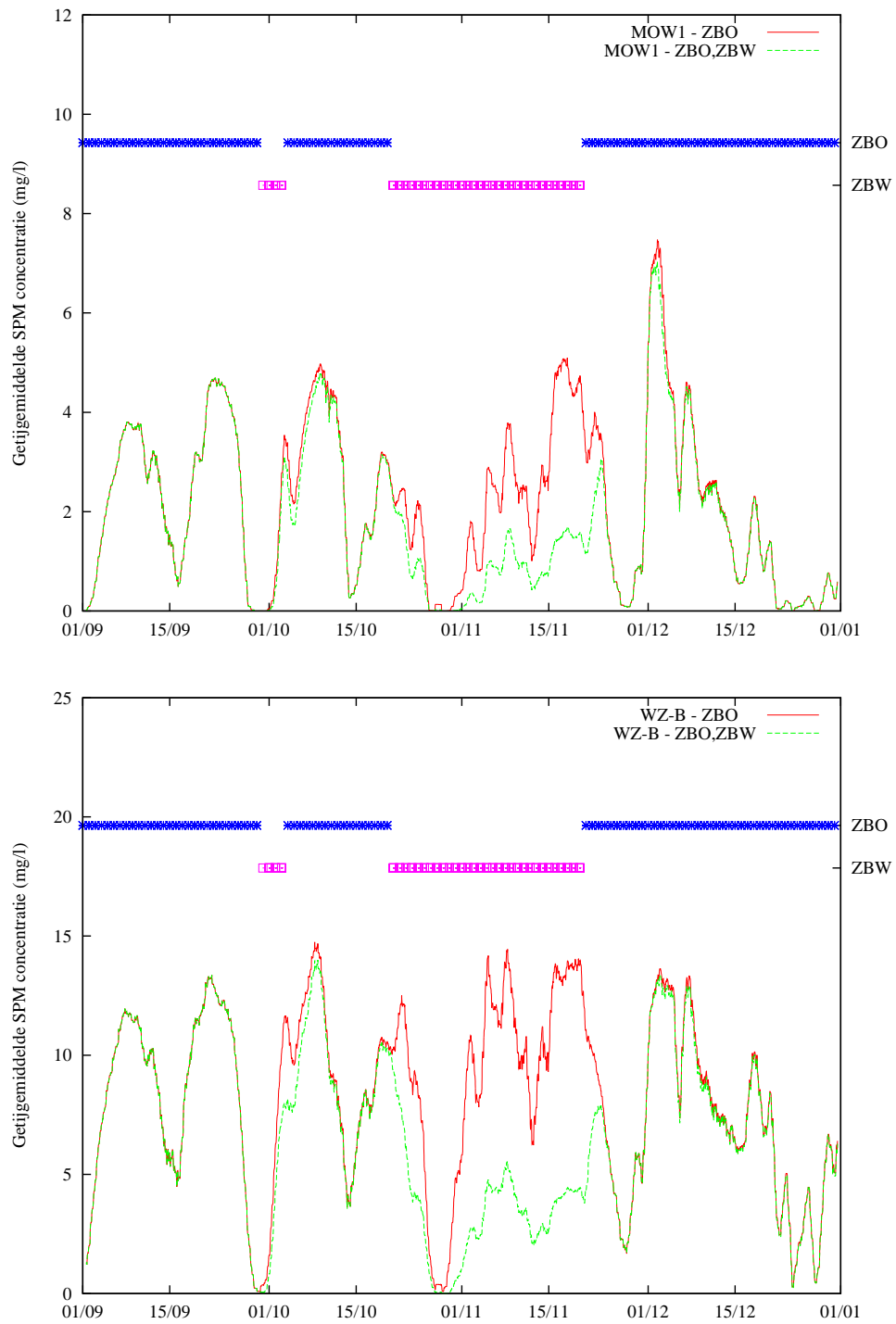
De gemiddelde SPM concentratie tijdens het gebruik van stortplaats Zeebrugge-West en Zeebrugge Oost in MOW1 en WZ-boei bedraagt 0.86 mg/l en 3.40 mg/l respectievelijk. Wanneer tijdens de simulatieperiode enkel op Zeebrugge-Oost wordt gestort, stijgen deze SPM concentraties respectievelijk naar 2.07 mg/l en 8.88 mg/l. Dit betekent dat door het gebruik van Zeebrugge-West de SPM concentraties met 40% tot 44% daalden, ten opzichte van de situatie wanneer enkel op Zeebrugge-Oost gestort wordt.

Aangezien de gesimuleerde SPM concentraties sterk afhangen van de parameters, die in het model worden gekozen, werden meerdere simulaties uitgevoerd met verschillende parameters. Een overzicht van de simulaties wordt gegeven in Tabel 2Tabel 1. Hierbij werd voor elke parameterset twee simulatie uitgevoerd, een waarbij op Zeebrugge-West wordt gestort en een tweede waar enkel op Zeebrugge-Oost wordt gebruikt. In simulaties 01, 03, 05 en 07 wordt 50 % van het materiaal op de bodem afgezet, en 50 % in suspensie gebracht, terwijl in simulaties 02, 04, 06 en 08s geen materiaal op de bodem wordt afgezet. Verder worden in simulaties 01 en 02 geen golven in rekening gebracht, terwijl dit wel het geval is voor de andere simulaties. Verder worden in simulaties 05 en 06 een lagere valsnelheid gebruikt, en in simulaties 07 en 08 een kritische bodemspanning voor depositie wordt opgelegd van 0.5 Pa. In de andere simulaties wordt voor deze kritische bodemspanning voor depositie een waarde van 1000 Pa aangenomen, wat in praktijk erop neer komt, dat er geen kritische bodemspanning voor depositie is.

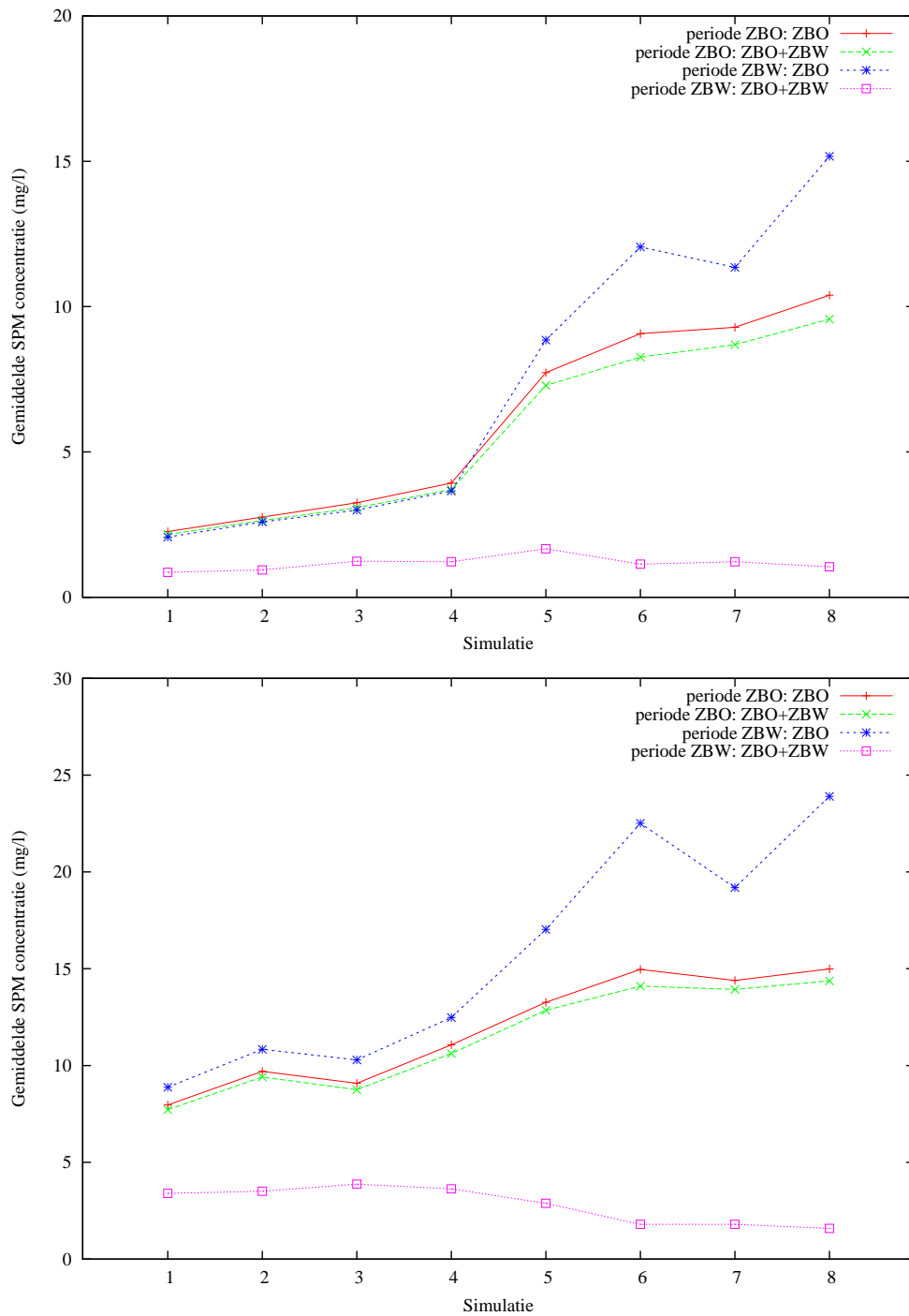
In Figuur 8 wordt de SPM concentratie ter hoogte van MOW1 en de WZ-boei getoond voor de verschillende simulaties, afzonderlijk voor de 'periode ZBO' (dit is de periode waar in realiteit op Zeebrugge Oost werd gestort: 1/09 tot 30/09, 4/10 tot 19/10 en 21/11 tot 31/12) en de 'periode ZBW' (dit is de periode waar in realiteit op Zeebrugge West werd gestort: 30/09 tot 3/10 en 21/10 tot 20/11). De resultaten worden getoond voor deze periodes waarbij nog een onderscheid wordt gemaakt met enkel storten op Zeebrugge-Oost (periode ZBO: ZBO en periode ZBW: ZBO) en met stortingen op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West zoals in werkelijkheid werd uitgevoerd (periode ZBO: ZBO+ZBW en periode ZBW: ZBO+ZBW).

Uit de figuur 8 blijkt dat het storten op Zeebrugge West ook nog een kleine verlaging in de gemiddelde SPM concentratie tijdens periode ZBO veroorzaakt (vergelijk periode ZBO: ZBO+ZBW, en periode ZBO: ZBO). Tijdens de periode met storten op ZBW (periode ZBW) is er een significant verschil in concentratie te zien. Door tijdens deze periode te storten op Zeebrugge-West daalt de SPM concentratie significant (zie periode ZBW: ZBW+ZBO). Om het effect van meteo in te schatten werd voor dezelfde periode ZBW ook simulaties uitgevoerd waarbij enkel op ZBO wordt gestort (periode ZBW: ZBO). Indien meteo geen effect zou gehad hebben, dan zou deze simulatie dezelfde resultaten moeten opleveren dan deze voor de periode

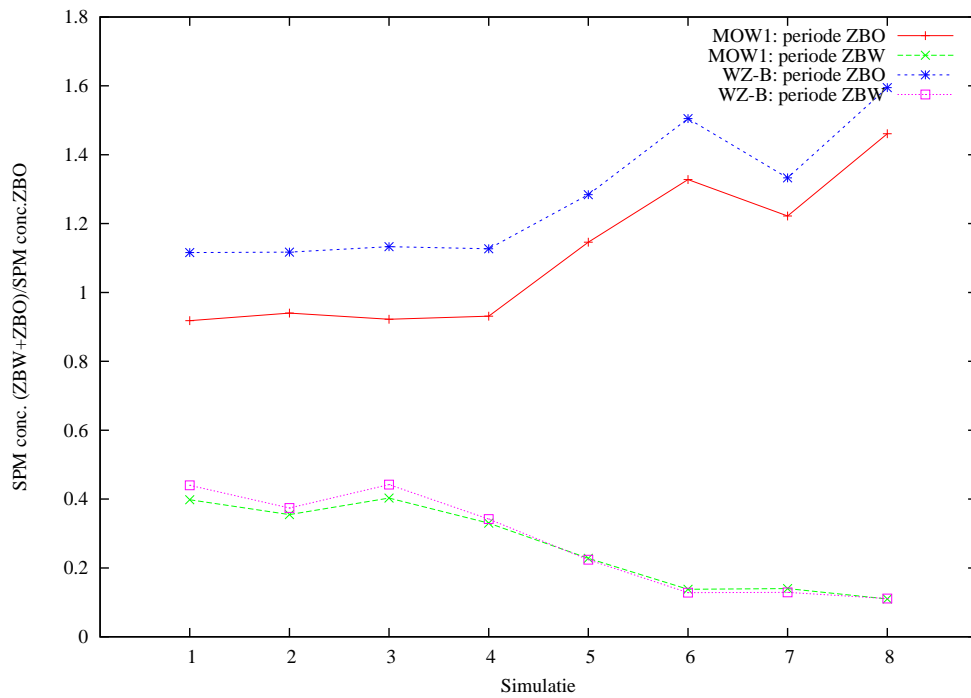
ZBO: ZBO). De significant hogere SPM concentraties zijn het gevolg van de woelige periode waarin de terreinproef werd uitgevoerd. Zonder dat de stortplaats zou veranderen verwachten we dus op basis van deze resultaten dat de SPM concentraties hoger zijn tijdens de periode ZBW dan ervoor of erna. In Figuur 9 wordt de verhouding weergegeven tussen de SPM concentraties ter hoogte van MOW1 en van WZ-boei, voor de simulaties waarbij op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge West wordt gestort, en de simulaties waarbij enkel op Zeebrugge-Oost wordt gestort. Het blijkt dat tijdens de periode dat op Zeebrugge-West wordt gestort, de concentraties dalen tussen 40 % tot zelfs 20 % van de waarde, afhankelijk van de verschillende simulaties. Het verschil tussen de daling ter hoogte van MOW1 en van de WZ-boei blijkt klein te zijn. Gedurende de periode dat op Zeebrugge-Oost wordt gestort blijkt dat door de storting ter hoogte van Zeebrugge-West de concentratie te WZ-boei en in sommige simulaties de concentratie ter hoogte van MOW1, te verhogen.



Figuur 7: SPM concentratie bij MOWI (boven) en WZ-boei (onder) voor simulatie 01 met stortingen op Zeebrugge-Oost (ZBO) en stortingen op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West (ZBW). Bovenaan worden de periodes aangeduid waarop er op Zeebrugge-West en Zeebrugge-Oost wordt gestort.



Figuur 8: Gemiddelde SPM concentratie ter hoogte van MOWI (boven) en WZ-boei (onder), voor de periodes waarop op Zeebrugge-Oost gestort wordt (periode ZBO) en de periode waarop op Zeebrugge-West gestort wordt (periode ZBW). Resultaten voor simulaties 1 t.e.m. 8 met stortingen op Zeebrugge-Oost alleen (ZBO) en met stortingen op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West (ZBO+ZBW).



Figuur 9: Verhouding tussen de gemiddelde SPM concentratie tijdens de simulatie met stortingen op stortingen op Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West (ZBO+ZBW) en met stortingen op Zeebrugge-Oost alleen (ZBO), ter hoogte van MOW1 en WZ-boei, voor de periodes waarop op Zeebrugge-Oost gestort wordt (periode ZBO) en de periode waarop op Zeebrugge-West gestort wordt (periode ZBW).

4. Conclusies

In het huidige rapport werden een aantal simulaties beschreven van de storting van baggerspecie op de stortplaatsen Zeebrugge-Oost en Zeebrugge-West. In één set van simulaties werden de stortingen gesimuleerd zoals ze in de praktijk werden uitgevoerd, dus op Zeebrugge-West gedurende de periode 30 september 2013 tot 3 oktober 2013 en 21 oktober 2013 tot 20 november 2013, en op Zeebrugge-Oost tijdens de rest. In een tweede set van simulaties werd enkel op Zeebrugge-Oost gestort, dus werd gesimuleerd dat het materiaal dat op Zeebrugge-West werd gestort ook op Zeebrugge-Oost werd gestort. De simulaties werden uitgevoerd voor de periode 1 september 2013 tot 1 januari 2014. De simulaties werden dan gebruikt om het effect na te gaan van de verandering van de stortplaats van Zeebrugge-Oost naar Zeebrugge-West op de SPM concentratie ter hoogte van MOW1 en de WZ-boei.

Uit de simulaties blijkt dat gedurende de periode dat op Zeebrugge-West gestort werd, de concentraties ter hoogte van MOW1 en WZ-boei zeer duidelijk verlaagden. Voor de verschillende simulaties werd de SPM concentratie verlaagd tot 40 % of zelfs tot 20 % van de SPM concentratie, die werd gesimuleerd, wanneer enkel op Zeebrugge-Oost werd gestort.

Uit de simulaties blijkt verder dat de periode Zeebrugge West gekenmerkt werd door meteorologische condities die door een grotere resuspensie van het afgezet materiaal een verhoging van de SPM concentraties hebben veroorzaakt t.o.v. de periodes voor of na deze periode.

5. Referenties

- Fettweis, M. and D. Van den Eynde, 2003. The mud deposits and the high turbidity in the Belgian-Dutch coastal zone, Southern bight of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 23, 669-691.
- Fettweis, M., M. Baeye, F. Francken en D. Van den Eynde, 2015. MOMO activiteitsrapport (1 januari – 30 juni 2015). BMM-rapport MOMO/7/MF/201507/NL/AR/3, ??pp + app.
- Van den Eynde, D., 2013. Comparison of the results of the operational HYPAS and WAM models. Report OPTOS/1/DVDE/201303/EN/TR1. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment. Suspended Matter and Seabed Modelling and Monitoring Group, Brussels, Belgium, 39 pp.

© COLOPHON

Dit rapport werd voorbereid door de Operationel Directie Natuurlijk Milieu in juni 2015.

De referentiecode van het rapport is MOMO/X/DVDE/201506/NL/TR01.

Status draft
 finale versie
 herziene versie
 vertrouwelijk

Beschikbaar in Engels
 Nederlands
 Frans

Indien u vragen hebt of bijkomende copies wenst, gelieven een e-mail te zenden naar *Dries.VandenEynde@mumm.ac.be*, met vermelding van de referentie, of te schrijven naar:

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Operationale Directie Natuurlijk Milieu
Groep Modelling en Monitoring van Materie in Suspensie en Zeebodem
Gulledelle 100
B-1200 Brussel
België
Telefoon: +32 2 773 2111
Fax: +32 2 770 6972
<http://www.mumm.ac.be/>

BEHEERSEENHEID VAN HET
MATHEMATISCH MODEL VAN DE NOORDZEE

