

Samenvattend Verslag

Opstellen van een hydrodynamische modellen suite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossierr	214.341
Title	Vergelijkende modellering
Document nr.	214.341_R07
Auteur	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	25/08/2017 (draft) 15/01/2018 (final)

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN	3
1 INLEIDING.....	4
1.1 DOEL	4
2 OPBOUW VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS.....	5
2.1 TELEMAT-TOMAWAC.....	5
2.2 NOORDZEEMODEL - MODELGEBIED EN REKENROOSTER	5
2.3 KUSTSTROOKMODEL - MODELGEBIED EN REKENROOSTER.....	6
2.4 KOPPELING TELEMAT-2D EN TOMAWAC	7
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	8
3.1 INLEIDING	8
3.2 GEBRUIKTE GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN INDICATOREN	8
3.3 RESULTATEN.	9
3.4 BIJKOMENDE BEVINDINGEN UIT DE MASTERPROEF WELTENS (2017).....	11
3.5 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....	11
4 REFERENTIELIJST	13
REFERENCE TO THIS REPORT	16

Lijst Figuren

Figuur 1. Het modelgebied voor het TELEMAC_2D model. De bathymetrie (in m t.o.v. gemiddeld zeeniveau) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd.	6
Figuur 2. Domein en rekengrid voor het kuststrookmodel (BCG). De grootte van de elementen varieert tussen de 250m en de 1000m, met de fijnere elementen aan de westzijde van het model. Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).....	7
Figuur 3 Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).	9
Figuur 4 De kwaliteitsindicator voor Hm0 en Tm02 berekend voor elk van de 4 stormperiodes, elk van de 3 maanden en voor de 3 maanden simulatie.	10

Lijst Tabellen

Tabel 1. Overzicht van de in dit rapport gebruikte modelconfiguraties.....	8
Tabel 2. Benaming, locatie en diepte van de boeien uit peilingen en diepte gebruikt in de verschillende model implementaties.	9

1 INLEIDING

1.1 Doel

Het “Vlaamse Baaien” plan van de Vlaamse Overheid wil een kader bieden om onze kuststrook ook in de toekomst te beschermen en duurzaam te ontwikkelen. Het aanleggen van kustmatige eilanden of het verhogen van bestaande zandbanken is een mogelijke manier om de energie van de golven te absorberen en dus om onze kust te beschermen. In de projecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” was het de bedoeling om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie dat zich van offshore over een aantal zandbanken naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van een spectraal golfmodel weliswaar gekoppeld aan een hydrodynamisch model om de veranderende waterstanden mee te kunnen nemen in de modellering. Voor deze twee projecten werd gebruik gemaakt van de modellen WAM, SWAN en COHERENS. Deze projecten werden uitvoerig gerapporteerd, zie de rapporten horende bij deze twee projecten in de REFERENTIELIJST.

Begrijpen waar er mogelijke tekortkomingen zijn in de modellering van de golfdissipatie over zandbanken en die verhelpen door verder onderzoek, zal toelaten om de effecten van de natuurlijke evolutie of van mogelijke ingrepen in ons kuststelsel beter in te schatten. Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken voor onze kust. Deze boeien zijn begin april 2016 uit dienst genomen. Uit het eerste project 212176 “Vlaamse Baaien – Monitoring Broersbank” is gebleken dat er nog ruimte is voor verbetering van de modelresultaten. Eén van de pistes die toen werd aangehaald, is het gebruik van een andere modellentrein met name de combinatie van TELEMAC (model voor hydrodynamica) en TOMAWAC (spectraal golfmodel). Dit project 214341 “Opstellen van een hydrodynamische modellenreeks TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank” beoogde het opstellen van deze alternatieve set van modellen en liep in tijd parallel met het project 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”.

2 OPBOUW VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS

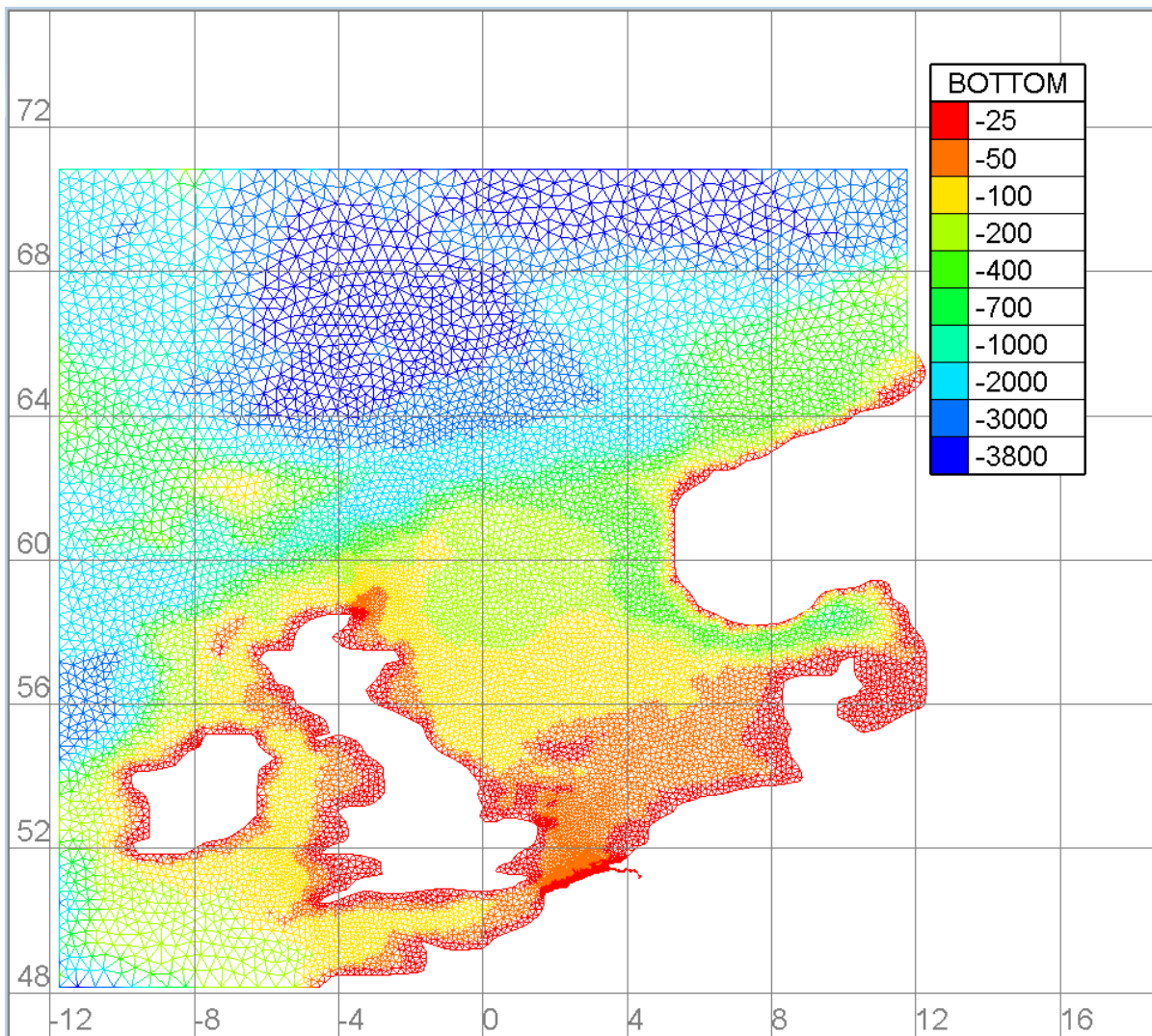
2.1 TELEMAC-TOMAWAC

De TELEMAC en TOMAWAC software modules zijn een onderdeel van een veel grotere geïntegreerde suite aan modellen binnen de open source TELEMAC-MASCARET aanbod (<http://www.opentelemac.org/>). Het open-source karakter van de software laat toe om mits de nodige inspanningen veranderingen aan te brengen in de broncode en/of om eigen subroutines toe te voegen. Dit opent perspectieven om bevindingen of ideeën uit lopend fundamenteel en toegepast onderzoek te implementeren en uit te testen met behulp van deze software.

TELEMAC is een pakket om waterstanden en stromingen te simuleren (hydrodynamisch model). TOMAWAC is een spectraal golfmodel. Eigen aan deze software is dat ze gebaseerd is op de eindige elementen methode met als voordeel dat het rekenrooster flexibel kan aangepast worden om bijvoorbeeld complexe kustlijnen in detail te kunnen volgen of om in te zoomen in bepaalde zones waar meer ruimtelijke detaillering wenselijk of noodzakelijk is. Door de verschillende modellen uit deze suite aan modellen te implementeren op hetzelfde rekenrooster, kan gemakkelijk informatie tussen de afzonderlijke modelmodules uitgewisseld worden. Op zich kan het TELEMAC pakket de hydrodynamica zowel in 2D als in 3D simuleren. Voor dit project werd net als voor het COHERENS model in de projecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”, geopteerd om de hydrodynamische simulaties in 2D uit te voeren. Dit wordt ook expliciet aangeduid in de naamgeving TELEMAC-2D.

2.2 Noordzeemodel - modelgebied en rekenrooster

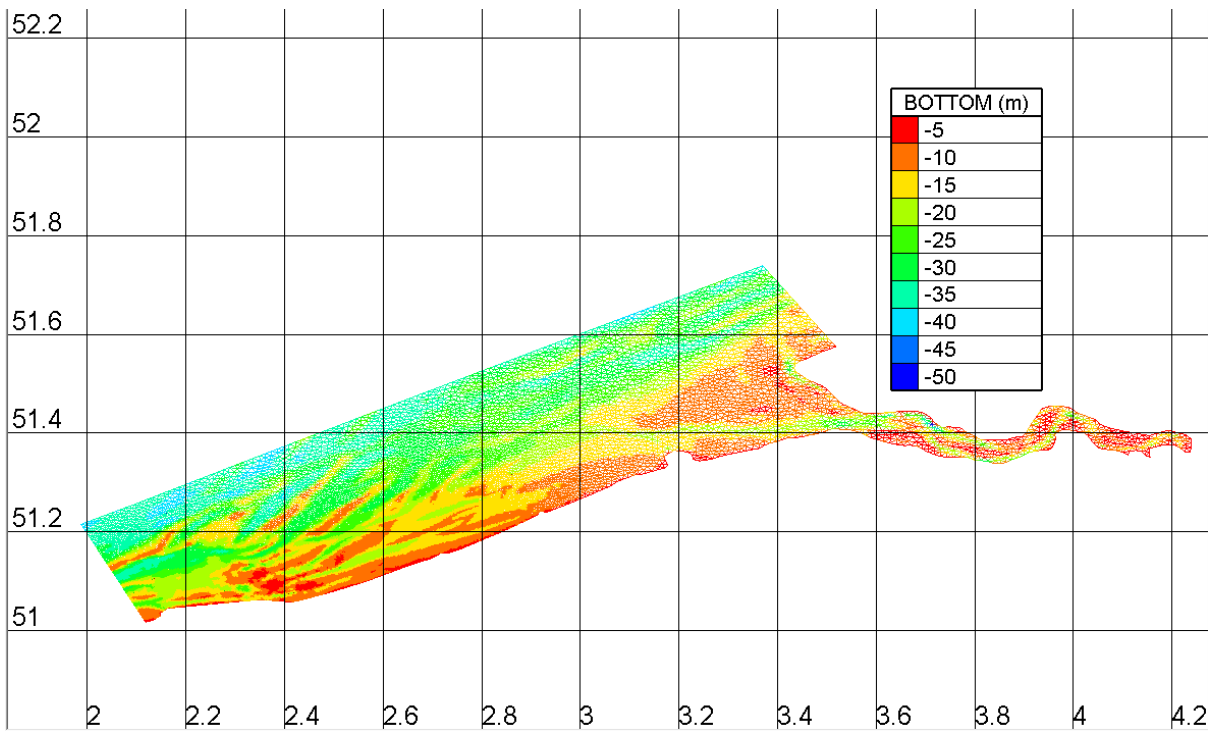
Het gekozen modelgebied voor zowel de implementatie van TELEMAC-2D als TOMAWAC strekt zich uit van 47.8333 N tot 71.1667 N en van 12.25 W tot 12.25 E, zie Figuur 1. Dit gebied is identiek aan het gebied dat gesimuleerd wordt bij het Noordzee WAM-model maar is wel uitgebreider dan het CSM (Continental Shelf Model) gebied dat gebruikt wordt voor de COHERENS simulaties om waterstanden en stromingen te simuleren voor het Europees Continentaal Plat in de zusterprojecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. Op zich zou in TELEMAC ook het CSM gebied kunnen gekozen worden, maar dat maakt latere koppeling tussen het stromingsmodel en golfmodel onmogelijk gezien beide rekenroosters identiek moeten zijn om een dynamische koppeling mogelijk te maken tussen het TELEMAC stromingsmodel en het TOMAWAC spectraal golfmodel. Een uitbreiding naar het noorden toe is nodig voor het golfmodel TOMAWAC om de volledige fetch naar het noorden in het model te hebben en dus ook de in het noorden gegeneerde golfenergie die dan aan onze kust toekomt als deining te kunnen capteren. Deze uitbreiding naar het noorden was om dezelfde reden ook aanwezig in het WAM-model dat gebruikt werd in het project 212.276 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” Gezien de uitgestrektheid van het gebied wordt hier typisch met grotere elementen gewerkt (lagere ruimtelijke resolutie). Dergelijk model wordt typisch gebruikt om randvoorwaarden te genereren voor een daaropvolgend genest model. De implementatie van het Noordzeemodel gaat enerzijds terug op het doctoraatswerk van Giardino (2008), anderzijds waren verschillende aanpassingen nodig om sommige van de toen ontwikkelde modules compatibel te maken met de huidige versies van de software.



Figuur 1. Het modelgebied voor het TELEMAC_2D model. De bathymetrie (in m t.o.v. gemiddeld zeeniveau) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd.

2.3 Kuststrookmodel - modelgebied en rekenrooster

Het modelgebied en rekenrooster in het geneste TELEMAC_2D kust hydrodynamisch model en TOMAWAC-kust golfmodel zijn identiek. Dit is, zoals eerder aangehaald, een vereiste voor de latere (dynamische) koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel. Voor het kuststrookmodel werd in de eerste plaats uitgegaan van een gebied vergelijkbaar met dat van het kuststrookmodel in de SWAN modellering. In Figuur 2 worden het gebied en de bathymetrie van dit kuststrookmodel getoond. Het modelgebied bestrijkt in de langsrichting de volledige Belgische kust en een gedeelte van de Franse en Nederlandse kust (uitbreiding naar het westen en naar het oosten komt qua afstand ongeveer overeen met tweemaal de getij-exkursie) over een zone van ongeveer 35 km breed min of meer parallel met de kust. Daarbij wordt er, met het oog op het kunnen aanleggen van de gemeten golfrandvoorwaarden aan het kuststrookmodel, voor gezorgd dat locatie Westhinder op de noordrand van het model ligt. De uitgebreidheid van dit model werd vastgelegd in overleg met het Waterbouwkundig Laboratorium. De randvoorwaarden voor het kuststrookmodel worden bekomen uit de berekeningen met het Noordzeemodel. Voor meer details wordt ook hier verwezen naar rapport 214.341_R03 in de REFERENTIELIJST.



Figuur 2. Domein en rekengrid voor het kuststrookmodel (BCG). De grootte van de elementen varieert tussen de 250m en de 1000m, met de fijnere elementen aan de westzijde van het model. Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).

2.4 Koppeling TELEMAC-2D en TOMAWAC

In rapport 214.341_R04 wordt de opzet en de uitwerking van de dynamische koppeling tussen het hydrodynamisch TELEMAC-2D model en het spectraal golfmodel TOMAWAC toegelicht. In tegenstelling tot de implementatie van het COHERENS-WAM en COHERENS-SWAN model dat gebruikt werd in de projecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”, is de koppeling hier wel online. Er wordt zowel informatie van het TELEMAC-2D hydrodynamisch model (waterstanden en stroomsnelheden) naar het TOMAWAC spectraal golfmodel gestuurd, als golf-geïnduceerde krachten van het golfmodel naar het hydrodynamisch model gestuurd. De software release versies v6p3r2 en v7p0r0 vertoonden een aantal problemen specifiek gerelateerd aan de koppeling en het gebruik van sferische coördinaten. De uiteindelijke implementatie van de gekoppelde versies voor de Noordzee- en kuststrookimplementaties gebeurde in de software release versie v7p1r1 (mei 2016).

Rekening houdend met de relatieve grove resolutie van dit model, lag het binnen de verwachting dat het verschil in rekenresultaten tussen de offline en de online koppeling voor de implementatie in het gebied van de Noordzee vrij beperkt zou blijven, wat ook effectief het geval was. Voor meer details, zie rapport 214.341_R04.

In rapport 214.341_R05 ligt de nadruk op de koppeling in het kuststrookmodel en wordt er aan de hand van enkele resultaten de goede werking van de numerieke simulaties met het online gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC kuststrookmodel geïllustreerd. Beide modellen waren zoals aangehaald genest in een online gekoppeld groter model voor de Noordzee (NSG - North Sea Grid). Dit wil zeggen dat de randvoorwaarden, zowel de hydrodynamische als de golf randvoorwaarden voor het kuststrookmodel berekend worden in het Noordzee model.

3 Resultaten en discussie

3.1 Inleiding

Gezien het parallel modelleerwerk in de projecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”, is het logisch om de resultaten niet alleen te vergelijken met de metingen, maar ook met de resultaten bekomen met de geïmplementeerde TELEMAC-2D en TOMAWAC modellen te vergelijken met de resultaten bekomen met de COHERENS-SWAN implementatie. Om het overzichtelijk te houden werden enkel volgende modelsettings weerhouden, zie Tabel 1 voor meer details.

De resultaten die daar bekomen werden, werden ook vergeleken met de resultaten berekend met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel (met settings CW50) in het kader van project 212.276 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”).

Run Code	Main settings
NSG	TELEMAC-TOMAWAC online gekoppeld model voor de Noordzee (North Sea grid – NSG). Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 214.341_R04.
BCG	TELEMAC-TOMAWAC online gekoppeld model voor de Belgische kust (BCG) met randvoorwaarden afkomstig van de online gekoppelde TELEMAC-TOMAWAC model voor de Noordzee (NSG). Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 214.341_R05.
SWAN(CW50)	SWAN-COHERENS online gekoppeld model voor de Belgische kust met randvoorwaarden afkomstig van de online gekoppelde WAM model. Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 212.176-R06-20150515

Tabel 1. Overzicht van de in dit rapport gebruikte modelconfiguraties.

3.2 Gebruikte golfparameters, statistische parameters en indicatoren

Voor de vergelijking worden identieke statistische parameters en indicatoren gebruikt als diegene die gebruikt werden in de projecten 212176 en 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”.

Wat betreft de golfparameters zijn dat de significante golfhoogte (H_{sig} of beter H_{m0}) gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum. Voor de periode is dat de gemiddelde periode T_{m2} gebaseerd op tweede moment van het spectrum. Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde ‘zero upcrossing period’, een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van de meetsignalen uit een golfboei.

Gebruikte statistische parameters zijn de klassieke root mean square error (RMSE), bias, scatter index (SI) en correlatiecoëfficiënt. Deze parameters zijn essentieel zijn bij de calibratie, validatie en beoordeling van de performantie van een model. De hoeveelheid aan parameters maakt de interpretatie echter moeilijk en onoverzichtelijk, daarom werd in het project 212176 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” in overleg met de opdrachtgever beslist om gebruik te maken van een eenvoudige kwaliteitsindicator (QI) om de performantie van een model te kwantificeren en te monitoren. Deze kwaliteitsindicator werd zowel voor de significante golfhoogte als voor de gemiddelde periode gedefinieerd als de 3-maand gemiddelde SI (van H_{sig} of T_{m2}) op de locaties BRB1GB en TRGGB1 samen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de volledige periode van 3-maanden en wat in dit onderzoek werden geselecteerd als storm. Meer details en de formules voor de verschillende parameters en de indicatoren, kan gevonden worden in de modelleerrapporten van project 214339 (rapporten _R04, _R10, _R11 en _R12). De lijst van geselecteerde stormen kan men terugvinden in het samenvattend rapport van project 214339 (tabel

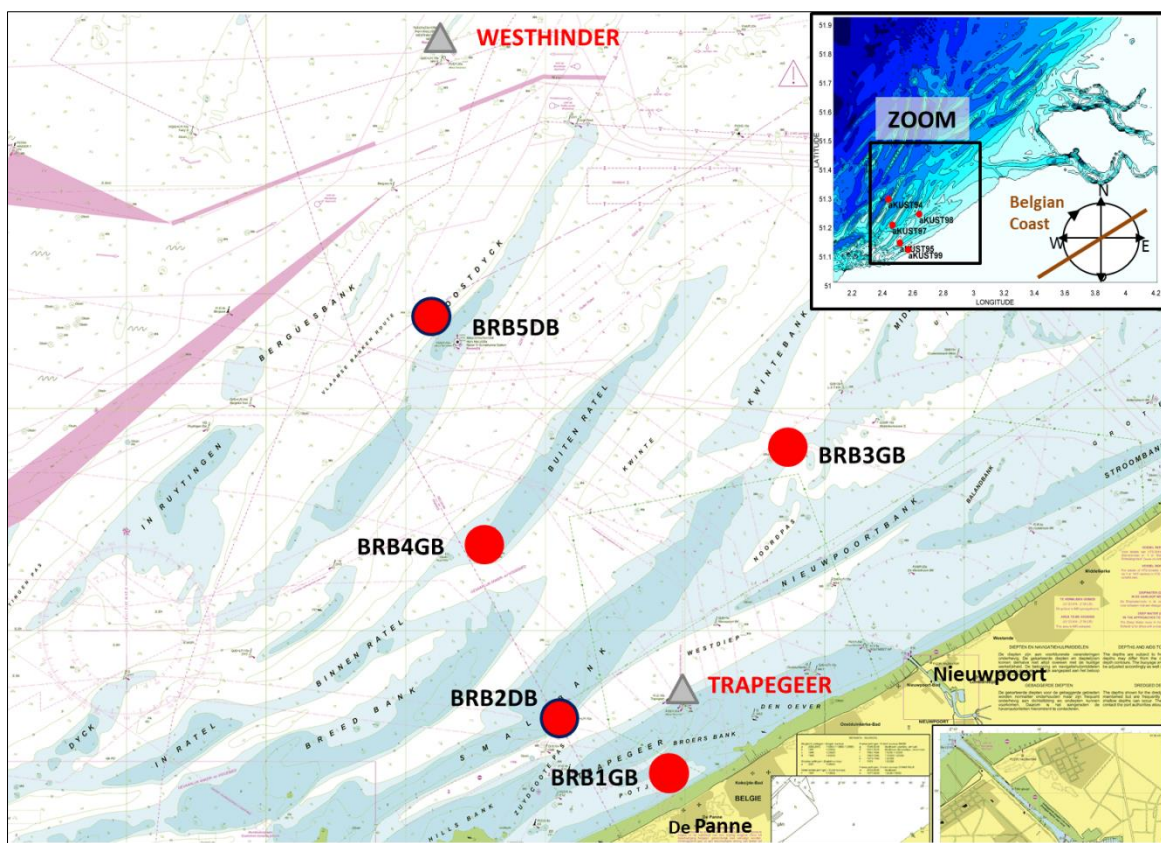
5 in rapport 214339_R13). In dit samenvattend rapport wordt ook verwezen naar de S-score. Deze S-score is methode om de overeenkomst tussen model en meting wat betreft de vorm van het frequentiespectrum weer te geven. De score kan variëren tussen 0 en 1. Een score van 1 geeft aan dat er een perfecte fit is wat betreft de vorm tussen het gemeten en het gemodelleerde spectrum. Een score 0 zegt dat de twee spectra niets met elkaar gemeen hebben.

3.3 Resultaten.

De modelresultaten worden vergeleken met de meetgegevens verkregen op de 7 locaties, zie Figuur 3. De coördinaten en de diepte voor elke locatie kan men terugvinden in Tabel 2. In die tabel worden dus per station 4 dieptes gegeven: de diepte zoals ingepeild bij het uitleggen van de boeien, en dan de 3 dieptes overeenkomend met de drie verschillende modelimplementaties.

LOCATIE	Breedtegraad	Lengtegraad	Diepte (m LAT)	Modellering Diepte (m LAT) in SWAN	Modellering Diepte (m LAT) in BCG	Modellering Diepte (m LAT) in NSG
WHI	51.3888	2.4483	25.9	21.9	14.9	26.9
BRB5DB	51.2847	2.4394	21.8	22.7	18.9	25.9
BRB3GB	51.2323	2.6413	8.0	10.7	9.9	9.9
BRB4GB	51.1950	2.4656	4.5	4.1	3.9	9.9
BRB2DB	51.1330	2.5145	14.4	10.8	9.9	8.9
BRB1GB	51.1100	2.5700	7.1	6.0	5.9	1.3
TRGB1	51.1375	2.5830	3.4	4.0	3.9	6.9

Tabel 2. Benaming, locatie en diepte van de boeien uit peilingen en diepte gebruikt in de verschillende model implementaties.

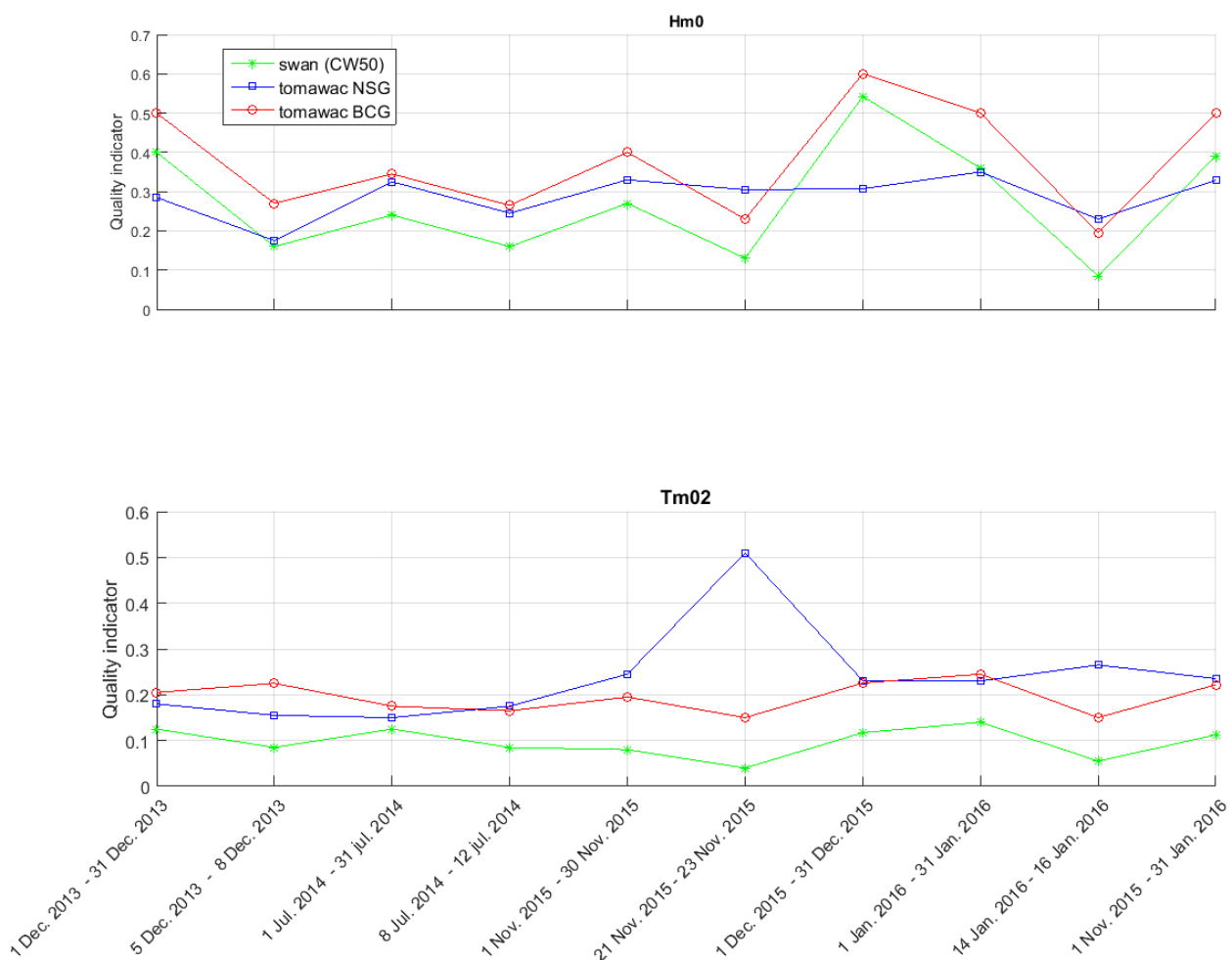


Figuur 3 Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).

In rapport 214341_R06 worden de resultaten uitvoerig besproken. In Figuur 4 hieronder wordt de kwaliteitsindicator QI weergegeven. Er werden vier stormen geselecteerd (storm 1: 5-8 december 2013; storm 7: 8-12 juli 2014, storm 17: 21-22 november 2015 en storm 18: 14-16 januari 2016; de stormnummers komen overeen met de nummers van de stormen in tabel 5 van het samenvattend rapport 214339_R13.

Naast de bovenvermelde stormperiodes werden ook de maanden december 2013, juli 2014 en de periode van 3 maanden november 2015 tot en met januari 2016 doorgerekend.

In onderstaande figuur kan men een samenvattende kwaliteitsindicator vinden, hier licht afwijkend gedefinieerd in de zin dat het nog altijd de gemiddelde scatter index is voor de locaties BRB1GB en TRGGB1 maar berekend over de periode aangegeven op de x-as (dus niet altijd een over 3 maanden gemiddelde scatter index).



Figuur 4 De kwaliteitsindicator voor Hm0 en Tm02 berekend voor elk van de 4 stormperiodes, elk van de 3 maanden en voor de 3 maanden simulatie.

Uit bovenstaande figuur blijkt duidelijk dat van de drie modelconfiguraties die hier zijn gebruikt, het SWAN-COHERENS kuststrookmodel momenteel performanter is dan het TELEMAC-TOMAWAC model. De betere performantie is vooral duidelijk dicht bij de kust. Voor een meer uitvoerige uitwerking en illustratie kan rapport 214341_R06 geraadpleegd worden.

Het was niet mogelijk binnen dit project om op een heel systematische manier naar de oorzaken van de verschillen te zoeken. Het feit dat er heel wat problemen waren met de koppeling tussen het TELEMAC en het TOMAWAC model in de verschillende release versies van de software, is in elk geval een aanwijzing dat deze koppeling nog niet heel robuust

is binnen dit softwarepakket. Het spectraal golfmodel SWAN heeft een grotere en reeds langere tijd actieve gebruikersgroep en is daardoor wellicht ook stabiel bij gebruik. Ook binnen het KU Leuven team is er een langere gebruikstraditie met het SWAN model. Desalniettemin zijn de TELEMAC-TOMAWAC resultaten bemoedigend. Hier en daar zijn de resultaten van de TELEMAC-TOMAWAC modelconfiguratie net iets beter dan van de SWAN-COHERENS configuratie. De opgedane ervaring met het TELEMAC-TOMAWAC model is heel belangrijk naar verdere projecten toe zoals het lopende CREST project (<http://www.crestproject.be/nl>) en andere initiatieven in Vlaanderen die gebruik maken van dit open software pakket. Daarom worden in rapport 214341_R06 een aantal bevindingen en aanbevelingen voor verder onderzoek gebundeld. Deze worden in sectie 3.5 grotendeels overgenomen, met uitzondering van de aanbeveling om ook gemeten golfspectra te kunnen opleggen aan de rand van het kuststrookmodel. Dit aspect werd uitgewerkt in de masterproef van Weltens (2017), zie sectie 3.4.

3.4 Bijkomende bevindingen uit de masterproef Weltens (2017)

Eén van de aanbevelingen in rapport 214341_R06 was om ook gemeten golfspectra op te kunnen leggen aan het TELEMAC-TOMAWAC BCG kuststrookmodel, zoals ook gebeurt voor het SWAN kuststrookmodel (zie bijvoorbeeld rapport 212.176-R06-20150515). Weltens (2017) heeft dit aspect uitgewerkt in het kader van zijn masterthesis aan de KU Leuven. Naast het aanleggen van de gemeten golfspectra, heeft hij ook gekeken naar het effect van het opleggen van de effectief gemeten (i.p.v. de ERA-Interim modelwinden te gebruiken) alsook het gebruik van gemengde randvoorwaarden waarbij een combinatie van gemeten en gemodelleerde golfspectra als golfrandvoorwaarde worden opgelegd. Dit werk is analoog aan het werk dat werd uitgevoerd in het kader van de masterproef van Warlop (2016) waar het effect van gemeten winden en van gemengde randvoorwaarden werd bekeken bij het gebruik van het COHERENS-SWAN kuststrookmodel, zie ook een samenvatting van die studie in het samenvattend rapport van project 214339 (rapport 214339_R13). Uit die studie blijkt dat in tegenstelling tot de studie van Warlop (2016), het gebruik van gemengde golfrandvoorwaarden en van gemeten windsnelheden niet de beste resultaten opleverde. Dat is contra-intuïtief en wijst op een minder goed afgesteld model. Het is nu echter wel al mogelijk om gemeten spectra als golfrandvoorwaarde op te leggen aan het TOMAWAC kuststrookmodel.

3.5 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Bij de gesimuleerde waterstanden was er een faseverschuiving te zien t.o.v. de metingen (op locatie Wandelaar). Het is niet duidelijk op dit moment of dit eerder te wijten is aan de opgelegde getijrandvoorwaarden of eerder te wijten is aan de voortplanting van het getij in het model (of aan een combinatie van de twee). Deze faseverschuiving heeft ontegensprekelijk een effect op de waterstanden (en stromingen) die via de koppeling worden doorgegeven aan het TOMAWAC model. Foutieve informatie over waterstanden en stromingen worden dan meegenomen in de berekening van de dissipatieprocessen in het golfmodel. Het is dus belangrijk dat de oorzaak van deze faseverschuiving in de waterstand gevonden en geredieerd wordt.

Voor de gemiddelde golfperiode T_{m02} is er een duidelijk getijsignaal te zien. In de resultaten afkomstig van het golfmodel TOMAWAC is de modulatie door het getij te sterk in vergelijking met de metingen. In het SWAN model zijn de fluctuaties minder sterk en meer in lijn met de metingen. Dit dient verder onderzocht te worden.

In Tabel 2 kan men vier verschillende dieptes aflezen, een diepte dat werd gemeten tijdens de onderhoudscampagnes van de boeien en drie dieptes die overeenkomen met de diepte in het gebruikte modelconfiguratie. Het is op zich niet verwonderlijk dat er verschillen zijn in diepte gezien de manier waarop elk model omgaat met bathymetrische gegevens verschillend kan zijn (en is). Bovendien is de bodem dynamisch en kan men verschillen verwachten tussen verschillende lodingen. Hier valt op dat vooral het TELEMAC_TOMAWAC Noordzeemodel vrij grote verschillen vertoont in diepte voor de locaties dicht bij de kust. Dit zou voor een groot deel de mindere performantie van deze modelconfiguratie voor de locaties dicht bij de kust kunnen verklaren. Het verdient aanbeveling om voor toekomstige modelstudies nog meer aandacht te besteden aan de bathymetrische gegevens en hoe daar systematisch kan mee omgegaan worden.

Er is zeker ook nog ruimte voor verdieping van de kennis van de formuleringen en numerieke implementatie van o.a. de brontermen en de advectietermen in het TOMAWAC model. Sommige formulering voor de brontermen zijn verschillend, maar ook bij gelijke formulering zijn er nog verschillen in de numerieke implementatie tussen TOMAWAC en SWAN. Alhoewel dit voor een gebruiker transparant zou moeten zijn, leert de ervaring dat dergelijke verschillen een belangrijke invloed kunnen hebben op de uiteindelijke resultaten.

4 REFERENTIELIJST

- Giardino, A., 2008. Numerical Modelling of Sediment Transport in Shelf Seas and Estuaries. Case Studies: the Kwinte Bank and the IJzermonding, Doctoraatsthesis KU Leuven, Faculteit Ingenieurswetenschappen.
- Warlop, J., 2016. Naar een optimale implementatie van het SWAN golfmodel voor toepassingen aan de Belgische kust. Master thesis Ingenieurswetenschappen: bouwkunde. KU Leuven.
- Weltens, G., 2017. Naar een optimale implementatie van het TOMAWAC golfmodel voor toepassingen aan de Belgische kust. Master thesis Ingenieurswetenschappen: bouwkunde. KU Leuven.

Rapporten Project Broersbank 212176

- Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2014. *Monitoring Broersbank – Concept modellering*. Broersbank_212176_N02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 17-10-2014.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2014. Monitoring Broersbank boeidata – satelliet datarapport periode dec2013 – mar2014. Monitoring Broersbank_212176_R01 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 17-10-2014.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2014. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode december 2013-maart 2014. Monitoring Broersbank_212176_R02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 17-10-2014.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2014. Monitoring Broersbank boeidata – satelliet datarapport periode Apr2014– Aug2014. Monitoring Broersbank_212176_R03 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 21-10-2014.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2014. Monitoring Broersbank boeidata – satelliet datarapport periode Sep2014 – Nov2014. Monitoring Broersbank_212176_R04 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 18-12-2014.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2014. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode april 2014-augustus 2014. Monitoring Broersbank_212176_R05 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 16-12-2014.
- Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank modelstudie –Resultaten Modellering December 2013 - Februari 2015. Monitoring Broersbank_212176_R06 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 15-05-2015.
- Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – satelliet datarapport periode Dec2014 – Feb2015. Monitoring Broersbank_212176_R07 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-03-2015.
- Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank- Samenvattend verslag (December 2013-februari 2015). Monitoring Broersbank_212176_R08 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 15-05-2015.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode september 2014-november 2014. Monitoring Broersbank_212176_R09 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 25-08-2015.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode december 2014- februari 2015. Monitoring Broersbank_212176_R10 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 25-08-2015.

Rapporten Project Broersbank 214339

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank – Dissipatieprocessen bij verschillende ophogingsscenarios van zandbanken. Broersbank_214339_N01 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-08-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Mar2015-Mei2015 Monitoring Broersbank boeidata. Monitoring Broersbank_214339_R01 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 07-07-2015.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Jun2015-Aug2015 Monitoring Broersbank boeidata. Monitoring Broersbank_214339_R02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 13-10-2015.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2015. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Mar2015-Mei2015. Monitoring Broersbank_214339_R03 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 09-12-2015.

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank – Resultaten Modelleren (periode Mar 2015 – Mei 2015). Monitoring Broersbank_214339_R04 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 18-07-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Sep2015-Nov2015 Monitoring Broersbank boeidata. Monitoring Broersbank_214339_R05 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 09-02-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Dec2015-Apr2016 Monitoring Broersbank boeidata. Monitoring Broersbank_214339_R06 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 06-06-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jun2015-Aug2015. Monitoring Broersbank_214339_R07 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-05-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Sep2015-Dec2015. Monitoring Broersbank_214339_R08 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-05-2016.

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jan2016-Apr2016. Monitoring Broersbank_214339_R09 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 05-07-2016.

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank – Resultaten Modelling (periode Jun 2015 – Aug 2015). Monitoring Broersbank_214339_R10 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-08-2016.

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank – Resultaten Modelling (periode Sep 2015 – Nov 2015). Monitoring Broersbank_214339_R11 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-10-2016.

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. Monitoring Broersbank – Resultaten Modelling (periode Dec 2015 – Mar 2016). Monitoring Broersbank_214339_R12 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 23-12-2016.

Monbaliu, J. 2017. Monitoring Broersbank- Samenvattende nota. Monitoring Broersbank_212176_R13 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, juli 2017.

Rapporten Project Broersbank 214341

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2015. Conceptmodel Telemac 2D. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellen suite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R06 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 24-07-2015.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. Concept golfmodel TOMAWAC. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellen suite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-04-2016.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, G. Decorte, J. Monbaliu, 2016. Concept kustrookmodel: TELEMAC-2D-kust en TOMAWAC-kust. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellen suite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R03 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-08-2016.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. Concept Koppeling TELEMAC-TOMAWAC Noordzee. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellen suite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R03 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-10-2016.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. Concept Koppeling TELEMAC-TOMAWAC Noordzee. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R04 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-10-2016.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. Koppeling TELEMAC-TOMAWAC kust. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R05 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-10-2016.

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, Q. Zhang, J. Monbaliu, 2017. Vergelijkende modellering. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R06 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 10-04-2017.

Reference to this report

Monbaliu, J. 2017. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Samenvattende nota. Broersbank_214341_R07 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, augustus 2017.