RAPPORT



THV SeaStar

Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar

MER SeaStar - Niet-technische samenvatting en externe bijlages

10 juli 2013 - versie 1.0



IMDC
International Marine & Dredging Consultants

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Titel	MER SeaStar - Niet-technische samenvatting
Project	Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar
Opdrachtgever	THV SeaStar
Documentref	I/RA/11421/12.201/MIM
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11421 - MER SeaStar\10-Rap\RA12201_MER SeaStar\RA12201_MER_Seastar - Hfst 0 samenvatting NL-EN-FR_v1.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	10/07/13	Finale versie - Niet-technische samenvatting en externe bijlages	CPA/MIM/MGO	MIM/MSM	MSA

Verdeellijst

37	Analoog	Marc Huygens (THV SeaStar)
1	Pdf/Word	Marc Huygens (THV SeaStar)

Inhoudstafel

0. NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING 1
0.1 DOEL EN VOORGENOMEN ACTIVITEIT 1
0.2 PROJECTBESCHRIJVING 2
0.3 EFFECTENBEOORDELING 5
0.3.1 Bodem en water 6
0.3.2 Klimaat en Atmosfeer 13
0.3.3 Geluid en trillingen 16
0.3.4 Fauna, flora en biodiversiteit 19
0.3.5 Zeezicht en cultureel erfgoed 33
0.3.6 Interactie met andere menselijke activiteiten 35
0.3.7 Risico's en veiligheid 38
0.4 CUMULATIEVE EFFECTEN 40
0.4.1 Inleiding 40
0.4.2 Bodem 41
0.4.3 Water 42
0.4.4 Klimaat en atmosfeer 42
0.4.5 Geluid en trillingen 42
0.4.6 Fauna, flora en biodiversiteit 43
0.4.7 Zeezicht en cultureel erfgoed 43
0.4.8 Interactie met menselijke activiteiten 44
0.4.9 Risico's en veiligheid 44
0.5 GRENSOVERSCHRIJDENDE EFFECTEN 49
0.5.1 Klimaat 49
0.5.2 Geluid en zeezicht 49
0.5.3 Fauna en flora 49
0.5.4 Risico's en veiligheid 49
0.5.5 Conclusie 50
0.6 MONITORING 50
0.7 BESLUIT 50
0. NON-TECHNICAL SUMMARY 53
0.1 PREFACE 53
0.2 PURPOSE AND INTENDED ACTIVITY 54
0.3 PROJECT DESCRIPTION 56
0.4 IMPACT ASSESSMENT 59
0.4.1 Soil and water 60
0.4.2 Climate and atmosphere 66

0.4.3 Noise and vibrations 69
0.4.4 Fauna, flora and biodiversity 72
0.4.5 Seasight and cultural heritage 85
0.4.6 Interaction with other human activities 87
0.4.7 Risks and safety 90
0.5 CUMULATIVE EFFECTS 91
0.5.1 Introduction 91
0.5.2 Soil 92
0.5.3 Water 92
0.5.4 Climate and atmosphere 93
0.5.5 Noise and vibrations 93
0.5.6 Fauna, flora and biodiversity 93
0.5.7 Seasight and cultural heritage 94
0.5.8 Interaction with other human activities 94
0.5.9 Risks and safety 95
0.6 TRANSBOUNDARY EFFECTS 99
0.6.1 Climate 99
0.6.2 Sound and seasight 99
0.6.3 Fauna and flora 99
0.6.4 Risks and safety 99
0.6.5 Conclusion 99
0.7 MONITORING 100
0.8 CONCLUSION 100
0. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE 103
0.1 AVANT-PROPOS 103
0.2 OBJECTIF ET ACTIVITÉ PRÉVUE 105
0.3 DESCRIPTION DU PROJET 106
0.4 EVALUATION DES INCIDENCES 109
0.4.1 Fond et eau 110
0.4.2 Climat et atmosphère 117
0.4.3 Son et vibrations 121
0.4.4 Faune, flore et biodiversité 123
0.4.5 Vue sur la mer et patrimoine culturel 138
0.4.6 Interaction avec d'autres activités humaines 140
0.4.7 Risques et sécurité 143
0.5 INCIDENCES CUMULATIVES 144
0.5.1 Introduction 144
0.5.2 Sol 145

0.5.3 Eau 146
0.5.4 Climat et atmosphère 146
0.5.5 Bruit et vibrations 146
0.5.6 Faune, flore et biodiversité 147
0.5.7 Vue sur la mer et patrimoine culturel 148
0.5.8 Interaction avec des activités humaines 148
0.5.9 Risques et sécurité 149
0.6 INCIDENCES TRANSFRONTALIÈRES 153
0.6.1 Climat 153
0.6.2 Son et la vue sur la mer 153
0.6.3 Faune et flore 153
0.6.4 Risques et sécurité 153
0.6.5 Conclusion 154
0.7 CONTRÔLE 154
0.8 CONCLUSION 154

Lijst van tabellen

TABEL 0-1 GEHANTEERDE DEFINITIES VOOR DE BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN DE MILIEUEFFECTEN. 6
TABLE 0-1 DEFINITIONS USED FOR DESCRIBING AND ASSESSING THE DIFFERENT ENVIRONMENTAL IMPACTS. 60
TABLEAU 0-1 DÉFINITIONS UTILISÉES POUR LA DESCRIPTION ET L'ÉVALUATION DES INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES 110

0. NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING

0.1 DOEL EN VOORGENOMEN ACTIVITEIT

THV SeaStar heeft een domeinconcessie toegewezen gekregen voor de bouw en exploitatie van een offshore windmolenpark op ca. 38 km van de kust. Het voorziene park wordt gebouwd langs de grens met Nederland in een zone gelegen ten noordwesten van de Lodewijkbank (domeinconcessie Northwind) en ten zuidoosten van de Blighbank (domeinconcessie Belwind). De jaarlijkse opbrengst zal ca. 800 GWh bedragen en kan tot 1.400 GWh reiken (bij maximaal potentiële uitbreiding van concessiezone en turbine), wat overeen komt met het gemiddelde jaarverbruik van ca. 286.000 tot 400.000 doorsnee gezinnen. Voordat met de bouw kan worden begonnen dient een milieuvergunning en een vergunning voor de aanleg van de kabels te worden aangevraagd. Ten behoeve van de besluitvorming over de aanvraag van de vergunningen wordt de procedure voor de milieueffectrapportage met bijhorende milieueffectenbeoordeling doorlopen.

Een milieueffectenrapport (MER) dient te worden opgesteld om de milieubelangen een volwaardige plaats te geven bij de vergunningsverlening. Dit MER dient ter onderbouwing van de vergunningsaanvraag en behandelt zowel de bouw, de exploitatie, de ontmanteling als de kabellegging van het SeaStar windmolenpark.

De initiatiefnemer kan op vandaag nog geen uitspraak doen over de definitieve keuze van turbine of fundering. In de praktijk wordt pas na een uitgebreide marktanalyse en aanbestedingsprocedure een definitieve keuze gemaakt. Daarbij spelen de referenties, de financiële draagkracht van de diverse fabrikanten, de economische analyse, de operationele beschikbaarheid, de 'proven technology' en nog tal van factoren een cruciale rol. Het MER gaat daarom uit van een basisconfiguratie en drie configuratiealternatieven die de volledige range van installatiemogelijkheden beslaan. Op die manier wordt voor de methodiek en de analyses binnen het MER rekening gehouden met het principe van een worst-case benadering. De afmetingen en specificaties van de uiteindelijk gekozen turbine en funderingstypes, dienen equivalent of inferieur te zijn aan de binnen het MER beschreven types.

In het MER worden volgende configuratiealternatieven voor het geplande Seastar windmolenpark besproken:

Configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	41	126 m	6 MW	246 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	optioneel
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	62	120-135 m 135 m	4-6,5 MW 5 MW	248-403 MW 310 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	optioneel

Configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	54	150-165 m 164 m	7,5-10 MW 8 MW	405-540 MW 432 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	optioneel
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	43	140-175 m 171 m	6,5-7,5 MW 7 MW	280-323 MW 301 MW	Jacket	optioneel
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

Op die manier wordt de optie met het maximaal aantal mogelijke funderingen besproken (configuratie 1), de optie met maximaal geïnstalleerd individueel en totaal vermogen (configuratie 2) en de optie met maximale rotordiameter (configuratie 3).

Samenvattend wordt voor de park lay-out rekening gehouden met een vermogensrange van 4 MW tot 10 MW per turbine (met een totaal geïnstalleerd vermogen tussen 246 en 540 MW, waarbij de Areva (5 MW), de REpower 6M (6,15 MW), de Vestas V164 (8 MW) en de Samsung (7 MW) als typevoorbeelden (met gebruik van hun beschikbare technische gegevens) worden uitgewerkt in het MER.

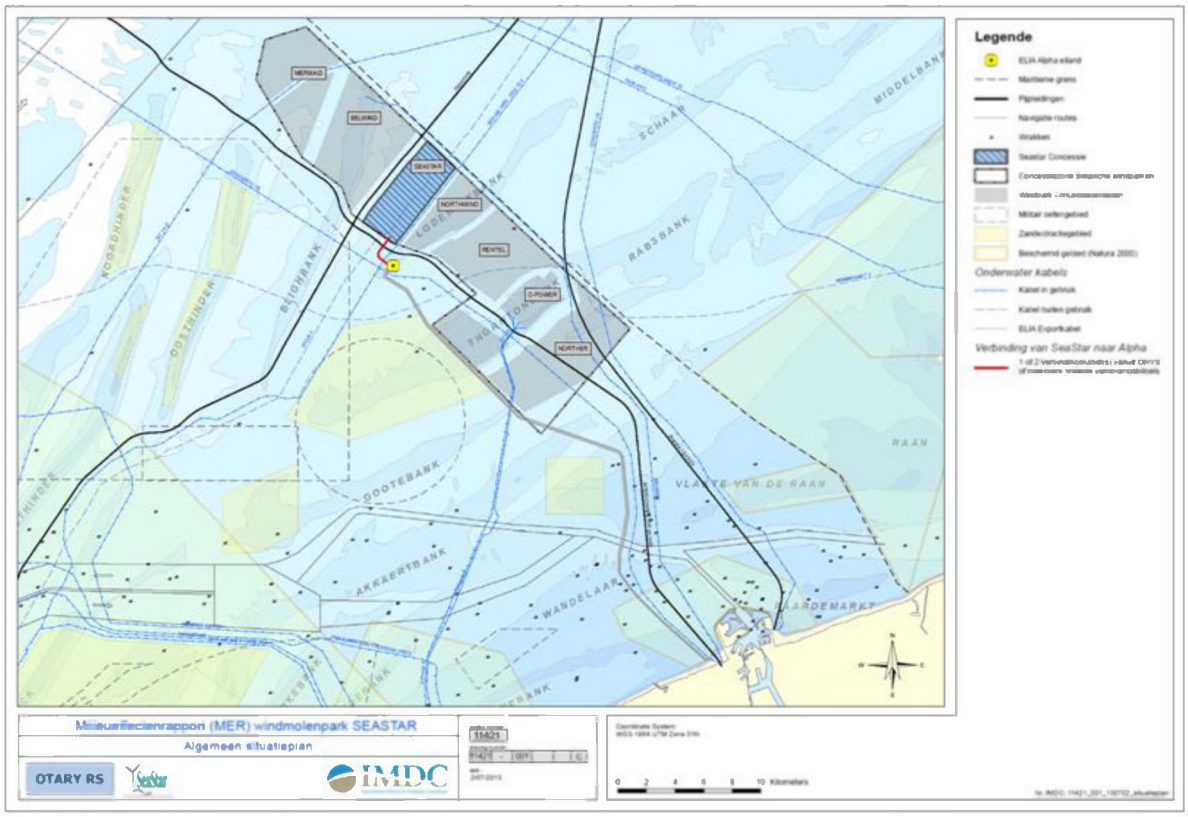
Tenslotte worden enerzijds de cumulatieve effecten besproken van het SeaStar windmolenpark samen met de vijf momenteel reeds vergunde windenergieprojecten in de Belgische Noordzee (C-Power, Northwind, Belwind, Norther en Rentel) en anderzijds de grensoverschrijdende effecten (naar Nederland toe) met de nodige aandacht omschreven en gevalideerd.

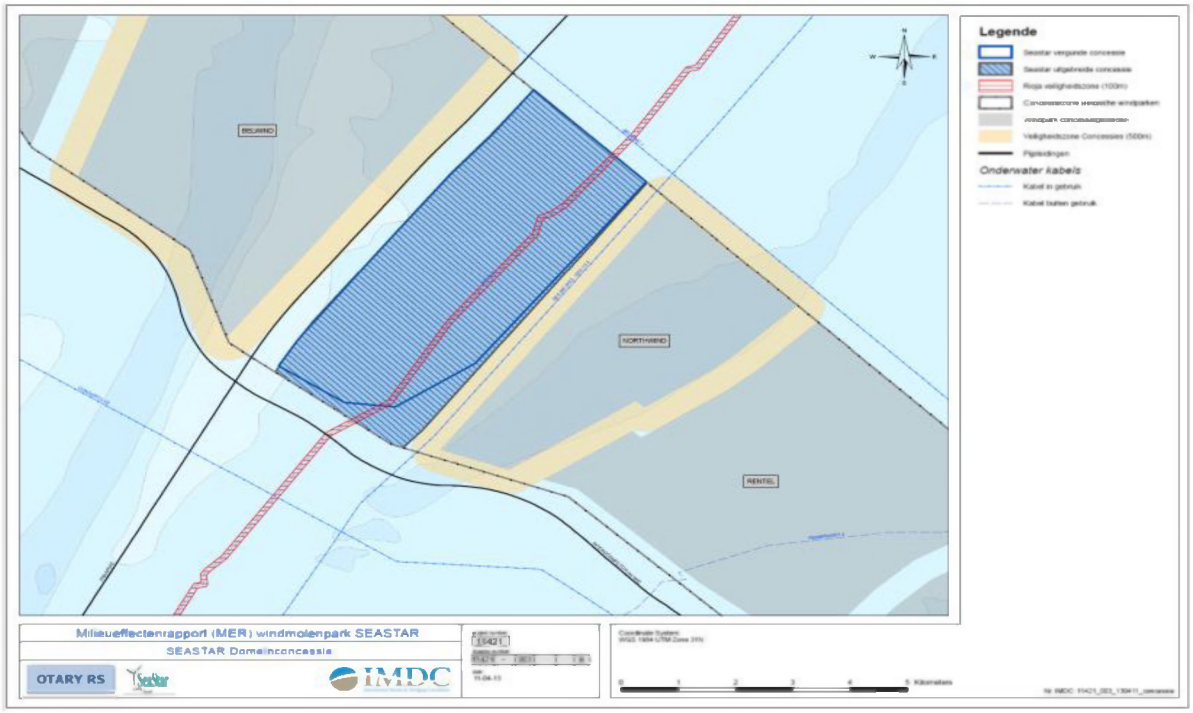
0.2 PROJECTBESCHRIJVING

Op 1 juni 2012 werd door de Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, een domeinconcessie toegekend aan de THV SeaStar voor de bouw en exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit wind in het gebied tussen de Lodewijkbank en de Blighbank (MB 01/06/2012 (EB-2010-0016-B) “toekenning domeinconcessie aan THV SeaStar”).

De vermogensrange bedraagt 4 tot 10 MW per turbine, met een totaal geïnstalleerd vermogen van max. 540 MW. De opgewekte elektrische energie wordt via hoogspanningskabels gelegen in de zeebodem naar een hoogspanningspost aan het toekomstige Stopcontact op Zee (het Alpha eiland van Elia) of rechtstreeks naar de kust (Zeebrugge) gebracht.

De bouw van het SeaStar windmolenpark wordt gepland in de periode 2016-2018.


Legende
Onderwater kabels
Verbinding van SeaStar naar Alpha
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
Algemeen situatieplan
OTARY RS
IMDC


Legende
Onderwater kabels
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
SEASTAR Domeinconcessie
OTARY RS
IMDC

In de onderstaande tabel worden de belangrijkste kenmerken weergegeven van het conceptontwerp.

Onderwerp	Omschrijving
Locatie	
Situering	Gelegen op 38 km van de kust; Gelegen tussen Lodewijkbank (domeinconcessie Northwind) en Blighbank (domeinconcessie Belwind) langs de grens met Nederland; Het projectgebied ligt in de zone afgebakend voor de inplanting van offshore windmolenparken vastgelegd door het KB van 20 december 2000, laatst gewijzigd door het KB van 3 februari 2011.
Oppervlakte concessiegebied	Totale oppervlakte bedraagt ca. 18,4 km² met een eventuele uitbreiding tot 20,3 km²
Parkinrichting	Inplanting: basisconfiguratie en drie alternatieve configuraties , zie bijlage C in MER; Diepte van de zeebodem ter hoogte van het concessiegebied: -22 tot -38 m TAW; Te respecteren afstanden tot de Interconnector en Franpipe gasleidingen (500 m), de SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabel (250 m) en de inactieve telecommunicatiekabel Rioja (50 m indien niet verwijderd), en de te respecteren bufferzone van 500 m voor naburige windmolenparken.
Windturbines	
Inplanting	Basisconfiguratie en drie alternatieve configuraties zie Bijlage C in MER
Type – Vermogen – Rotordiameter	Ca. 4 tot 10 MW per turbine; diverse turbines komen hiervoor in aanmerking. Voor de verschillende configuraties wordt gewerkt met typevoorbeelden: Basisconfiguratie: rotordiameter 126 m, individueel vermogen 6 MW, overeenstemmend met een totaal geïnstalleerd vermogen van ca. 246 MW. Typevoorbeeld REpower 6M turbine; Configuratie 1: rotordiameter 120-135 m, individueel vermogen 4-6,5 MW, overeenstemmend met een totaal geïnstalleerd vermogen van ca. 310 MW. Typevoorbeeld Areva 5 MW turbine; Configuratie 2: rotordiameter 150-165 m, individueel vermogen 7,5-10 MW, overeenstemmend met een totaal geïnstalleerd vermogen van ca. 432 MW. Typevoorbeeld Vestas V164 8 MW turbine; Configuratie 3: rotordiameter 140-175 m, individueel vermogen 6,5-7,5 MW, overeenstemmend met een totaal geïnstalleerd vermogen van ca. 301 MW. Typevoorbeeld Samsung 7 MW turbine.
Aantal	Basisconfiguratie: 41 turbines; Configuratie 1: 62 turbines; Configuratie 2: 54 turbines; Configuratie 3 : 43 turbines.
Productie	Ca. 800 tot 1.400 GWh/jaar
Fundering windturbines	
Ofwel monopiles	De monopile is een stalen buispaal die in de grond geheid en/of geboord wordt, of via de suction bucket techniek geplaatst wordt. De diepte waarover geheid moet worden om een stabiele fundering te bekomen, hangt af van het bodemprofiel. Rond de paal wordt een erosiebescherming aangebracht, die zowel statisch als dynamisch kan zijn. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1 en 2.
Ofwel jacket	De jacket fundering bestaat uit een vakwerktoren, opgebouwd uit stalen buizen met vier steunpunten. De palen worden ofwel geheid ofwel via de suction bucket techniek aangebracht. SeaStar voorziet een nivellering op maximaal 50% van de locaties en een dynamische erosiebescherming rondom de overige 50% van de locaties. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1, 2 en 3.
Ofwel gravitair	Een gravitaire fundering bestaat uit een holle betonnen kegel, die overgaat in een smallere sectie, waarop de windturbine gemonteerd wordt. De fundering wordt geprefabriceerd op land en wordt vanaf het schip of ponton neergelaten op de vooraf vlak gemaakte zeebodem. Rond de fundering wordt een erosiebescherming aangebracht. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1, 2 en 3.
Windmeetmast	
Aantal	Principieel niet voorzien in het SeaStar park

Onderwerp	Omschrijving
Fundering hoogspanningsstations	
Type	Gelijkaardig aan de fundering van de turbines.
Elektrische infrastructuur	
Parkkabels binnen het Windmolenpark en rechtstreekse verbindingskabels naar Alpha	De windturbines worden in groepen (4-5 strings) van telkens ca. 30 MW of 60 MW verbonden op resp. een 33 of 66 kV parkkabel en aangesloten op een OHVS (scenario 1, optie B) of rechtstreeks op het Alpha-platform van ELIA buiten het concessiegebied (scenario 1, optie A); Kabeltracés scenario 1, optie A: zie Bijlage D in MER; Aanlegdiepte kabels: ca. 1 m in de zeebodem.
Offshore hoogspanningsstation (OHVS)	Aantal: maximum 1 (scenario 1, optie B en scenario 2), afhankelijk van de interarray bekabeling en de externe aansluiting op het nabijgelegen Alpha-platform; Step-up transformatoren 33 kV → 150-220 kV of 66 kV → 150-220 kV
Kabels vanaf OHVS naar land of naar Alpha	Scenario 1, optie B en scenario 2: 3-fasige onderzeese 150 kV of 220 kV kabel; afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen 2 x 150 kV of 1-2 x 220 kV. Kabeltracé scenario 1, optie B en scenario 2: zie Bijlage D Bekabeling zal gebeuren volgens de richtlijnen opgesteld door de Vlaamse Overheid (departement Mobiliteit en Openbare Werken, Haven- en Waterbeleid) en andere bevoegde instanties; Aansluitingspunt aan de kust (scenario 2): het nieuw te bouwen hoogspanningsstation STEVIN in Zeebrugge Aansluitingspunt scenario 1, optie B: het Alpha-eiland van Elia (Belgian Offshore Grid) op de Lodewijkbank
Exploitatie	
Besturing en bewaking windmolenpark	SCADA-systeem (Supervisory, Control And Data Aquisition) vanuit een controlekamer op het land
Frequentie gepland onderhoud	Eerste jaren meermaals per maand, later 1 maal per jaar, exclusief ongepland onderhoud en reparaties
Logistiek – toegang naar windmolenpark	Toegang met behulp van onderhoudsschepen of toegang met behulp van helikopters

0.3 EFFECTENBEOORDELING

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de effectenbeoordeling samengevat per discipline, telkens voor de constructie-, operationele en ontmantelingsfase van het project (windmolenpark inclusief in situ surveys en elektrische bekabeling). Tevens wordt aangegeven welke milderende maatregelen mogelijk zijn.

De geassocieerde milieueffecten werden geïdentificeerd en geëvalueerd op basis van de projectbeschrijving, de beschikbare literatuur en door overleg met de belanghebbende partijen. Om de significantie van een impact te bepalen, werd rekening gehouden met de de omvang of reikwijdte en de duur (tijdelijk of permanent karakter). De beschreven effecten worden in de vorm van een relatieve plusmin-beoordeling weergegeven (Tabel 0-1). Positieve effecten duiden op een verhoging, ondersteuning of versterking van de betrokken (natuurlijke of gewenste) eigenschap van het milieu, een negatieve beoordeling wijst op het verdwijnen, een verlaging of een aantasting van een bepaalde (natuurlijke of gewenste) eigenschap.

Tabel 0-1 Gehanteerde definities voor de beschrijving en beoordeling van de milieueffecten.

Symbool	Effect niveau	Beschrijving	Beoordeling milieu/organismen
++	Significant positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Zeer positief
+	Matig positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Positief
0/+	Gering positief	Meetbaar kleine positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Neutraal
0	Geen	Onmeetbaar effect of niet relevant.	Geen
0/-	Gering negatief	Meetbaar kleine negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Verwaarloosbaar
-	Matig negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Aanvaardbaar
--	Significant negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Onaanvaardbaar

0.3.1 Bodem en water

0.3.1.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

0.3.1.1.1 Bodem

Het BDNZ strekt zich uit over een gebied van ongeveer 3.500 km². De bodemtopografie van het BDNZ bestaat uit een complex van zandbanken en geulen, waarbij de geulen een maximale diepte van 30 tot 40 m onder LAT bereiken.

De SeaStar concessiezone ligt in de getijdengeul tussen de Lodewijkbank, die deel uitmaakt van de Zeelandbanken en de Blighbank, welke deel uitmaakt van de Hinderbanken. Waterdiepten variëren hier tussen ongeveer 22 m en 38 m onder TAW. De Zeelandbanken zijn grofweg ZW-NO georiënteerd, de Hinderbanken hebben eerder een ZZW-NNO orientatie. Aan de oppervlakte wordt voornamelijk zand teruggevonden.

In het SeaStar concessiegebied werd reeds een verkennende seismische campagne uitgevoerd door G-tec (2013). Op de seismische profielen is te zien hoe de Tertiaire lagen hellen in NE richting. De top van het Tertiair is een erosief oppervlak dat de discordantie vormt tussen onderliggende Teriaire lagen en het Quartair dat het Tertiair bedekt. Het afgedekte Cenozoïsche pakket is voornamelijk opgebouwd uit een afwisseling van zandige en kleiige lagen. In het Seastar concessiegebied komt direct onder het Quartair de Formatie van Maldegem voor. De volledige sequentie van deze formatie is aanwezig in het concessiegebied, met het Lid van Onderdijke, bestaande uit grijsblauwe klei, als bovenste Tertiare eenheid.

De bovenste laag van de zeebodem met daarop de zandbanken, werd afgezet tijdens het Quartair. De Quartaire afzettingen op het BDNZ zijn zeer dun en gefragmenteerd, waardoor in

de geulen tussen de zandbanken de onderliggende oudere lagen aan het zeebodemoppervlak kunnen liggen. De SeaStar concessiezone ligt echter ter hoogte van een voormalige Maas rivierinsnijding, waardoor het Quartair hier lokaal dikker is. Onder het Quartair is het Tertiair gelegen waarvan de top een erosief oppervlak is dat een discordantie vormt tussen de oudere, onderliggende Tertiaire afzettingen en de bovenliggende Quartaire afzettingen. De Tertiaire lagen zijn duidelijk afgesneden en ter hoogte van de SeaStar concessie ingesneden door een paleovallei van de Maas.

In het NE van het projectgebied is het Quartair dek over het algemeen dikker dan in het centraal en westelijk deel. De insnijdingen komen waarschijnlijk overeen met estuariene getijdengeulen. Bij gedetailleerd onderzoek op de Hinderbanken, bleek dat de Maasvallei insnijding opgevuld is met estuariene afzettingen van Eem (Pleistoceen) ouderdom. Mogelijk komen ook deze voor in het SeaStar gebied.

Tijdens het Holoceen, rond 7.000 jaar geleden, begon de vorming van de getijdenbanken en de tussenliggende geulen, waaronder de Lodewijkbank en de Blighbank geul. Het materiaal waaruit de getijdenbanken werden opgebouwd, was afkomstig van locale erosie waardoor de geulen werden gevormd. Oudere Quartaire afzettingen komen dan ook enkel voor onder de getijdenbanken waar het bleef afgeschermd of in oudere rivierinsnijdingen (Mathys *et al.*, 2009).

De zandbanken zijn getijdenbanken die voortvloeien uit de interactie van zand en ZW-NO georiënteerde getijdenstromingen. Een fundamenteel proces voor het bestaan van zandbanken is de aanwezigheid van aparte eb- en vloedgeulen aan weerzijden van de bank. Dit veroorzaakt een circulaire zandbeweging over en rond de bank die de stabiliteit van de bank in stand houdt. De Zeelandbanken en de Hinderbanken hebben een steile oostelijke flank. De maximale stroomsnelheid langs de Zeelandbanken is gericht in de vloedrichting (NO). Dit zou duiden op een circulaire zandbeweging rondom de Zeelandbanken in tegenwijzerszin, dit in tegenstelling tot de rest van het BDNZ. Langsheen de Hinderbanken is de dominante stroomsnelheid de ebrichting (ZW), dit zou duiden op een circulaire zandbeweging in wijzerzin. De SeaStar concessiezone ligt op de overgang tussen beide zones.

Een belangrijk fenomeen bovenop zandbanken en in de tussenliggende geulen zijn de zandduinen. Duinen zijn aanzienlijk kleiner dan zandbanken - enkele meters hoog - maar meer dynamisch en zeer prominent aanwezig in het BDNZ. In het SeaStar concessiegebied komen duinen voor met een hoogte van 2 to 4 m. In een kleine zone langsheen de NW rand komen hogere duinen voor met een hoogte tussen 4 en 6 m. Zowel vloedgedomineerde als ebgedomineerde, net zoals symetrische duinen komen voor. De afstand tussen twee opeenvolgende kam lijnen varieert tussen 100 en 500 m.

Aan het zeebodemoppervlak komt vooral gemiddeld zand met mediane diameter 300-350 µm voor. In een beperkt gebied komt ook wat fijner zand voor met D50 250-300 µm en wat grover zand D50 (350-400 µm). In het projectgebied werd er geen grind waargenomen (Van Lancker *et al.*, 2007).

Analyse van 18 jaar metingen op de Westhinder (1990-2008), toont een ZW en WZW dominante golfrichting. Significante golfhoogtes zijn kleiner dan 1,0 m voor meer dan 50% van de tijd en groter dan 2,0 m voor ongeveer 10% van de tijd, met een gemiddelde van ongeveer 90 cm. De piek golfperiodes liggen tussen 3 en 8 s voor 90% van de tijd, met een gemiddelde

van 5,5 s. Over het algemeen liggen wind en golven in dezelfde lijn. Hetzelfde golfklimaat wordt in het SeaStar projectgebied verwacht (IMDC, 2013a).

Om een idee te hebben van de natuurlijk locale stroomsnelheden en sedimenttransporten in het SeaStar projectgebied werd een numerieke modellering uitgevoerd. Details over de opzet van het model worden gegeven in rapport IMDC (2013a), bijgevoegd als externe bijlage. Simulaties werden uitgevoerd voor twee situaties: een zomer situatie, waar enkel getijdenstroming een rol speelt zonder meteorologische invloeden, en een winter situatie waar ook wind en golven van belang zijn. De grootste gemiddelde snelheden worden waargenomen op de toppen van de Lodewijkbank en de Blighbank. Ook ter hoogte van het zandduinenveld ten NW en ZW van het SeaStar gebied heersen hogere stroomsnelheden. Tijdens de zomercondities worden lokaal maximale stroomsnelheden waargenomen van 1,09 m/s in het gebied tussen de zandbanken binnen een doodtij-springtij cyclus, tijdens wintercondities is de maximaal waargenomen stroomsnelheid 1,11 m/s.

Het NO deel van het SeaStar gebied wordt gekenmerkt door een dominant vloedgerichte residueel sedimenttransport. Langs de oostelijke rand van het concessiegebied vertonen de duinen een duidelijke ebassymetrie, het sedimenttransport in dit gebied is echter niet ebgericht, maar de waardes voor het netto sedimenttransport zijn er wel klein en niet dominant vloedgericht.

0.3.1.1.2 Water

Er worden temperatuurwaarden teruggevonden tussen 0,05°C en 19,8°C (BMM, 2013). De gemiddelde watertemperatuur in het BDNZ is ongeveer 11°C. Er treden dus seizoenale variaties op met een grootteorde van 8 à 9°C ten opzichte van de gemiddelde temperatuur.

De saliniteit in het BDNZ bedraagt gemiddeld 24-36 g/kg. Er is een lichte seizoenale variatie door de invloed van de riviertoevoer (Ospar, 2000a). De saliniteit aan het wateroppervlak is hoger en constanter (32 ppt) dan aan de zeebodem (25 tot 31 ppt).

Men kan voor het projectgebied aannemen dat de natuurlijke concentraties aan metalen relatief laag zijn. De belangrijkste organotinverbinding is tributyltin (TBT). Het is een biocide dat in het aquatische milieu als "antifouling" gebruikt wordt. De concentratie tributyltin offshore bedraagt <1 ng/l. Bunkerolie en smeerolie zijn de belangrijkste bronnen van olievervuiling in de Noordzee. De olielozing afkomstig van boringen voor de offshore olie- en gasindustrie is over de laatste 10 jaar sterk gereduceerd (tot meer dan 80%). De menselijke invloed op de nutriëntenbalans is voornamelijk merkbaar ter hoogte van de kustzone en minder detecteerbaar ter hoogte van het projectgebied.

De turbiditeit of helderheid van het zeewater wordt bepaald door de hoeveelheid zwevend (in suspensie) materiaal in het water. Specifieke informatie voor het projectgebied werd niet teruggevonden, maar monitoringscampagnes op de nabijgelegen Thorntonbank en Blighbank, tonen natuurlijke achtergrondwaardes van gemiddeld 4 mg/l tijdens zowel zomer als winter.

0.3.1.1.3 Autonome ontwikkeling

De klimaatverandering zal zorgen voor veranderingen in de stromingskarakteristieken op het BDNZ (Van den Eynde *et al.*, 2009) en in de chemische eigenschappen van het zeewater. Zelfs op de termijn van de exploitatie periode zullen al veranderingen merkbaar zijn. Zo wordt bijvoorbeeld een algemene zeespiegelstijging ten gevolge van het broeikaseffect verwacht van 1 m tegen 2100 (Reid *et al.*, 2011).

Een toename van extreme stormen zou zeer zeker een invloed hebben op de sedimentdynamiek aangezien sedimenttransport in grote mate plaatsvindt tijdens extreme hydraulische condities. Echter, analyses uitgevoerd door Van den Eynde *et al.* (2012) toonden geen significante toename in het voorkomen van extreme windsnelheden. Ook een toename in golfhoogte, het aantal stormen en de stormintensiteit is nog onzeker voor de Belgische kustwateren.

Verder kan verwacht worden dat de antropogene invloed op de waterkwaliteit in het mariene milieu verder zal dalen. Bijvoorbeeld zouden de concentraties aan TBT, zware metalen, nutriëntentoevoer via rivier, etc. een positieve dalende trend moeten tonen in de toekomst.

0.3.1.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.1.2.1 Effecten op de bodem

Constructiefase

Bij gebruik van monopiles of jacket funderingen zal voor de helft van de funderingen – ongeacht de configuratie – een nivellering van de zeebodem vooraf moeten gebeuren. Het gebaggerd zand wordt hierbij permanent gestockeerd (13.300 m³/MP en 11.200 m³/JF) in het concessiegebied. Bij monopiles wordt hierna een erosiebescherming geplaatst. Voor jacket funderingen is geen erosiebescherming voorzien voor de locaties waar genivelleerd werd, wel op de overige 50% van de locaties waar het Quartair dek dunner is (dynamische erosiebescherming).

Bij het plaatsen van gravitaire funderingen wordt eerst een funderingsput uitgebaggerd (90.000 m³/GBF). Na het aanbrengen van een funderingslaag wordt de GBF geplaatst, de funderingsput wordt verder heropgevuld (backfill) met het tijdelijk gestockeerd materiaal, waarna de GBF gevuld wordt met ballast. Indien geschikt gebeurt dit ook met het eerder gestockeerde materiaal. Nadien wordt een erosiebescherming aangebracht.

Tijdens de stockage zal ca. 30% van het zand verdwijnen door bagger- en dumpingverliezen. Ook bij het terug opvullen van de funderingsputten en de GBF met het gestockeerde materiaal zal opnieuw materiaal verloren gaan. Indien de Quartaire deklaag dunner is dan 7,5 m, en de stevige Tertiaire lagen (als aanzet van de fundering) eerder bereikt worden, dan kan de funderingsput minder diep gemaakt worden en moet er minder zand gebaggerd en gestockeerd worden.

Het zandoverschot vrijgekomen ofwel bij nivellering van monopile en jacket locaties ofwel bij het baggeren van funderingsputten bij GBF, moet gestockeerd worden op een zodanige locatie dat de globale morfodynamiek van het gebied zo minimaal mogelijk wordt gewijzigd. De maximale hoogte van de stockage is best in dezelfde grootteorde als de natuurlijke zandduinen in het gebied, en op een zo klein mogelijk oppervlak zodat de oppervlakte waarbinnen het benthos verstoord wordt, minimaal is (BMM, 2006a; BMM, 2007). Door te kiezen voor een stockage hoogte van 5 m wordt voldaan aan beide voorwaarden. Bij een monopile fundering neemt het permanent gedumpte zand, rekening houdend met bagger- en dumpingsverliezen een oppervlakte tot 5,6 ha (conf. 1) in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m.

Bij jacket funderingen neemt het permanent gedumpte zand een oppervlakte tot 7,2 ha in (conf. 1), wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m. Bij GBF is het tijdelijk ingenomen oppervlak 53 tot 79,4 ha. Bij GBF funderingen worden de morfologische veranderingen als matig negatief beschouwd.

De stortlocatie wordt best zo dicht mogelijk bij de te installeren windturbines gekozen en ten ZW van de windturbines, zodat het gestockeerde zand via de overheersende vloedstromingen in NO richting de kans krijgt zich te verspreiden over het concessiegebied alvorens verder getransporteerd te worden. In het ZO deel van het projectgebied is de overheersende stroming ebgericht en zou de stortlocatie best ten NO van de windturbines gekozen worden. Deze differentiatie zal echter zeer moeilijk te maken zijn. De optie om te stockeren per turbine wordt – ondanks een relatief grotere oppervlakte-inname – zowel vanuit morfologisch oogpunt (snellere verspreiding vanuit kleine hopen zand) als vanuit werk-technisch oogpunt (korte afstand tussen bagger- en losplaats) niet afgeschreven.

Bij het hergebruiken van het gestockeerde materiaal bij GBF, treden opnieuw bagger- en dumpingsverliezen op. Dus voor het opvullen van de funderingsputten en de GBF zal meer materiaal nodig zijn dan wat gestockeerd werd. Rekening houdend met verliezen van 30% zal per fundering ongeveer 88.600 m³ gebaggerd moeten worden om aan de vereiste 62.000 m³ backfill en infill te komen. In het worst case scenario (configuratie 1) resulteert dit in een tekort van 1.675.800 m³ materiaal dat extra gebaggerd zal moeten worden. Dit effect wordt als matig negatief beschouwd.

De hypothetische kans op een accidentele lozing van verontreinigende stoffen in het water zal, gezien de heersende stromingscondities en het zandige karakter van de oppervlakkige bodemsedimenten geen aanleiding geven tot verontreiniging van de bodem.

Bij de aanleg van de erosiebescherming wordt enerzijds grind (kaliber 2-120 mm) gebruikt, anderzijds breuksteen (kaliber 50-540 mm). Bij het gebruik van geologisch zuivere materialen voor de erosiebescherming worden (vrijwel) geen effecten verwacht op de chemische bodemkwaliteit.

Operationele fase

Door een erosiebescherming aan te brengen worden erosiekuilen vermeden. Dergelijke erosiekuilen kunnen immers dimensies aannemen die de stabiliteit van de volledige windturbineconstructie in gevaar zouden brengen. Het aanbrengen van de erosiebescherming is dus een positieve maatregel voor de bodemstructuur en voor de bedrijfsvoering. Deze erosiebescherming vormt echter een heterogeniteit in de zandige bodem. Doordat de erosiebescherming qua niveau onder het oorspronkelijke niveau van de zeebodem wordt geplaatst, vormt de erosiebescherming geen verticale doorbreking van de bodemstructuur; er kan zelfs verwacht worden dat zand zich op natuurlijke wijze zal verplaatsen bovenop de erosiebescherming.

Hoewel er lokaal ter hoogte van de windturbines een verstoring zal optreden van het natuurlijke sedimenttransport, zal dit amper enig effect hebben op de globale natuurlijke processen in het concessiegebied. Daarvoor is immers het effect van elke constructie – door de aanwezigheid van de erosiebescherming – te gering en de afstand tussen de windturbines te groot. Het effect van de windturbines op de globale morfodynamiek van het BDNZ wordt als verwaarloosbaar beschouwd voor de verschillende configuratiealternatieven.

Het aanbrengen van de erosiebescherming is noodzakelijk voor de stabiliteit van de constructie en mitigeert de effecten op bodem van lokale erosie door de aanwezigheid van een constructie. Hoewel de erosiebescherming op zich een lokale heterogeniteit vormt t.o.v. de zandige zeebodem, wordt het aanbrengen van de erosiebescherming beschouwd als een gering negatief effect voor het milieu.

Ontmantelingsfase

Bij een monopile of jacket fundering die ingeheid werd zullen geen bijkomende effecten op de geologische bouw van de betreffende bodempakketten optreden of op de morfodynamiek gezien betreffende funderingen deels blijven zitten. In geval de suction bucket techniek gebruikt werd kunnen de funderingen zelfs volledig verwijderd worden. De putten kunnen opgevuld worden met zand of erosiebeschermingsmateriaal.

Bij gravitaire funderingen wordt alles weggehaald en blijft, per turbine, een put over. Ook hier zullen geen bijkomende effecten optreden op de geologie ten opzichte van de constructie- en operationele fase. Ook hier wordt voorgesteld deze op te vullen met zand, indien deze uitgraving zich verder zou ontwikkelen door lokale erosie.

De keuze over het al dan niet verwijderen van de erosiebescherming zal op het einde van de exploitatie bepaald worden op basis van monitoring, de stand der techniek en op ondertussen opgedane ervaring. Bij het verwijderen ervan wordt de oorspronkelijke geologische bouw hersteld. Het laten zitten ervan creëert een blijvend geologisch artefact per turbinelocatie op het BDNZ.

Bekabeling

De verbindingskabels naar Alpha-eiland of de exportkabel naar de kust kunnen buiten de vaargeul door ploegen geplaatst worden op minimaal 1,5 m onder de zeebodem. Ook de optie van het baggeren van een sleuf langsheen het gehele exportkabeltracé wordt overwogen. In de vaargeul zal een combinatie van baggeren en jetten of ploegen vereist zijn.De kabels worden voldoende diep gelegd zodat de kans dat een kabel bloot komt te liggen, vrij gering is. Op plaatsen met Tertiaire klei wordt de diepte eventueel beperkt tot 1 m, afhankelijk van de haalbaarheid. Doorgaans zijn Tertiaire lagen meer gecompacteerd en bevatten ze meer kleihorizonten dan de Quartaire deklagen die ze bedekken. Bij het doorkruisen van dergelijke zones kan tijdelijk en lokaal een hogere turbiditeit in het water ontstaan (zie discipline 'Water').

Schade aan kabels door ankers t.h.v. vaargeulen zal worden vermeden door het leggen van de kabel in de vaargeul op een gepaste diepte. Bovendien wordt het kabeltracé jaarlijks gemonitord om een eventueel vrijkomen van de kabel tegen te gaan. Een mogelijk effect door lokale erosie waarbij de kabels als obstructie op de zeebodem optreden wordt als gering negatief beoordeeld.

De keuze over het al dan niet verwijderen van de kabels zal later bepaald worden. Indien de kabels verwijderd worden, treden niet-significante effecten op vergelijkbaar met de effecten die optreden tijdens de constructiefase. Indien de kabels niet verwijderd worden, treden er geen effecten op.

Tenslotte, heeft aanwezigheid van de kabel een verwaarloosbare impact op de temperatuur van de bodem.

0.3.1.2.2 Effecten op water

Contructiefase

Tijdens de constructiefase – zowel voor de plaatsing van de kabels als van de windturbines – treden geen effecten op de hydrodynamica op, ongeacht het type fundering. De effecten op stromingen en golven zijn zeer lokaal en verwaarloosbaar (BMM, 2007).

Evenals voor zware metalen, is de potentiële impact van het vrijkomen van organische polluenten uit de bovenste sedimentlaag tijdens de inrichting vrij gering, gezien er

voornamelijk zand geëxtraheerd wordt met een laag percentage aan fijne deeltjes en organisch materiaal. Aangezien de Noordzee aangeduid is als een speciale zone (volgens MARPOL 73/78) voor afval sinds 1991 en voor olie sinds 1999, kan deze activiteit gezien het wettelijk verbod op lozen van afval en olie (door schepen groter dan 400 ton) niet leiden tot lozingen van afval of olie. Het baggeren kan een kleine tijdelijke toename van nutriënten in de waterkolom veroorzaken. De aangroeiwerende verf die wordt aangebracht op de schepen gebruikt tijdens de inrichtingsfase is TBT- vrij. Op temperatuur, opgeloste zuurstof, saliniteit wordt geen invloed verwacht.

Tijdens de constructie van de fundering zal een lokale verhoging van de turbiditeit kunnen vastgesteld worden, zowel bij het inheien van palen of bij gebruik van suction bucket methode als bij het baggeren en terugstorten van zand. Normaliter zal er gewerkt worden bij rustige (weinig opwoeling en stroming) weersomstandigheden, waardoor kan verondersteld worden dat de natuurlijke turbiditeit laag is. Dit betekent eveneens dat de bezinking van het opgewoelde sediment relatief snel zal optreden en in een geringe straal rondom de activiteiten.

De impact van het inheien van een monopile- of jacket fundering, of het plaatsen van een suction bucket hebben vanzelfsprekend een kleinere invloed op de turbiditeit dan het installeren van een gravitaire fundering.

In het kader van dit project werd een pluimmodelleringsstudie uitgevoerd om de turbiditeit tijdens het baggeren van een funderingsput voor een GBF te begroten (IMDC, 2013a, cf. externe bijlage). Het baggeren van een funderingsput van 90.000 m³ werd ingeschat op 14 cycli van baggeren en dumpen, wat in totaal ongeveer 1,5 dag duurt. De simulaties werden uitgevoerd tijdens een springtij om de worst-case effecten te benaderen. De modelresultaten tonen dat de achtergrondwaarde in de regio van 4 mg/l (Van den Eynde, 2010) niet langer dan 3,5h (10% van de tijd) overschreden wordt tijdens de volledige baggerwerken van één funderingsput. Het is vooral de dumpactiviteit die de hoogste turbiditeit veroorzaakt.

Voor een scenario waarbij gebaggerd wordt aan de noordoost rand en dumping centraal in de concessiezone, wordt de 4 mg/l limiet slechts 2,1h overschreden tijdens de volledige baggerwerken van één funderingsput (scenario 2). De overschrijding legt een afstand van ongeveer 1,5 km af en treedt enkel op binnen het concessiegebied. De pluimdiameter beperkt zich tot 500 m. In scenario 1, wordt de limiet van 10 mg/l buiten de SeaStar zone overschreden voor slechts 2% van de tijd (40 min), en binnen de SeaStar zone voor 4% van de tijd (1h40 min). In scenario 2, met dumping centraal in het projectgebied, wordt de 10 mg/l limiet niet overschreden buiten de SeaStar zone. Er binnen, duurt de overschrijding in totaal slechts 1,26h (3% van de totale tijd).

De constructie van de fundering zal, voor elke uitvoeringswijze en type fundering, een lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken met, in vergelijking met turbiditeitsconcentraties die van nature optreden tijdens stormen, een gering negatief effect.

Operationele fase

Er is geen significante invloed van een windturbineconstructie op de stroming. Een windturbine in de zee veroorzaakt een geringe verandering van de stroomsnelheid aan weerszijden van de paal en turbulentie aan de lijzijde van de paal. Ook de golfwerking zal geen noemenswaardige verandering ondergaan door de aanwezigheid van een funderingsconstructie en bovenliggende windturbine.

Er is geen langetermijn effect op de waterkwaliteit te verwachten. De kans op een accidentele lozing met acuut effect op de waterkwaliteit wordt als zeer gering beschouwd.

Op een niet-significante lokale turbiditeit na, vlakbij de fundering door het opwoelen van zand vlakbij de bodem, veroorzaakt de activiteit geen effect op de turbiditeit tijdens de exploitatie, ongeacht het type fundering.

Ontmantelingsfase

De effecten tijdens de ontmantelingsfase (die bestaat uit het verwijderen van de palen en het eventuele verwijderen van de erosiebescherming en ondergrondse park- en exportkabels) zullen gelijkaardig zijn als in de inrichtingsfase. Voor de meeste effecten zal de impact bovendien geringer zijn dan tijdens de inrichtingsfase.

Bekabeling

Het aanleggen van park- en exportkabels zal een tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. De impact wordt echter voor beide types kabels en uitvoeringswijzen als zeer tijdelijk en lokaal beoordeeld.

Tijdens de operationele fase hebben ondergrondse kabels geen invloed op de turbiditeit. Enkel indien de kabel na verloop van tijd zou vrijkomen op een bepaalde plaats, kan lokaal een tijdelijke verhoging van de turbiditeit optreden bij het opnieuw begraven van de kabel.

0.3.1.3 Milderende maatregelen

Om de impact van het gestockeerde materiaal te verminderen wordt er de voorkeur aan gegeven om de oppervlakte van de verstoring zo klein mogelijk te houden, maar er wordt beter niet hoger gestockeerd dan de natuurlijke zandduinen in de omgeving. Een goede afstemming van de deeltrajecten is hoe dan ook een vereiste bij het tussentijds stockeren van zand, dit om diverse verliezen zo veel mogelijk te beperken.

Als onderdeel van het globale veiligheidsysteem, dient er een duidelijke procedure beschikbaar te zijn die beschrijft op welke manier en door wie acties worden ondernomen op het moment dat er tijdens de inrichting, exploitatie of ontmanteling een calamiteit ontstaat met nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit (bvb. olielek).

0.3.2 Klimaat en Atmosfeer

0.3.2.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

België kent over het algemeen een gematigd zeeklimaat met vrij veel regen en wind, en kleine temperatuursvariaties tussen de verschillende seizoenen. De klimaatskarakteristieken die heersen aan land gelden in grote mate ook voor het klimaat ter hoogte van het geplande windmolenpark. Op zee is er echter gemiddeld een meer constant windklimaat en een hogere windsnelheid. Gemiddeld ligt de windsnelheid er op een hoogte van 100 m boven de zeespiegel op 8,5 tot 10 m/s en is de overheersende windrichting (W)ZW.

Met betrekking tot het globale klimaat zijn in het kader van dit project vooral het broeikaseffect en de opwarming van de aarde van belang. De stijging van de atmosferische concentraties aan CO_2, CH_4 en N_2O is veruit de belangrijkste oorzaak van de opwarming van het klimaat. Om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen moet er omgeschakeld worden naar milieuvriendelijke energie, zoals zonne-energie, biomassaenergie, windenergie, etc.

Uit gegevens van de VMM meetstations voor de luchtkwaliteit blijkt dat voor de relevante parameters (SO_2, NO_x, stof, ozon en CO) ruim aan de luchtkwaliteitdoelstellingen wordt voldaan en er bijgevolg voldoende draagkracht is om het effect van bijkomende emissies op te vangen.

Wat betreft de luchtkwaliteit, kan gesteld worden dat de emissies, die een gevolg zijn van het materiaalgebruik, de constructie en ontmanteling van het windmolenpark niet zullen plaatsvinden bij een autonome ontwikkeling. Bijgevolg zal er geen tijdelijke beïnvloeding zijn van de lokale luchtkwaliteit. Daarentegen zullen de potentieel vermeden emissies die de elektriciteitsproductie door het windmolenpark zou opleveren, wel gerealiseerd worden en zal de CO_2-concentratie in de atmosfeer zonder verregaande reductiemaatregelen verder toenemen. In het kader van dit project werd een Life Cycle Analysis uitgevoerd (IMDC 2013c, externe bijlage). Daaruit blijkt dat de netto impact van een windturbine in het SeaStar concessiegebied op de CO_2 uitstoot en energieconsumptie ruimschoots positief is.

0.3.2.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.2.2.1 Constructiefase

Gedurende de installatie van het windmolenpark zullen het globale klimaat en het lokale windklimaat geen relevante effecten ondervinden.

De constructiefase omvat niet enkel de eigenlijke bouw van het windmolenpark, maar begint al bij de winning van de grondstoffen die noodzakelijk zijn voor de productie van de verschillende onderdelen van de windturbines. Deze fase omvat ook de productie van de onderdelen, de eventuele premontage van de windturbines en onderdelen in een nabijgelegen haven, het transport naar het concessiegebied en de eigenlijke constructie van het windmolenpark. De energieconsumptie en de daaraan gekoppelde emissies zijn tijdens de productiefase beduidend groter dan tijdens de transport- en bouwfase.

In de externe bijlage (IMDC, 2013c) van het MER werd een Life Cycle Analysis (LCA) gemaakt van een 10 MW turbine. Hierin werd berekend dat tijdens de productiefase het energieverbruik ca. 16 GWh (jacket (JF)) tot 18 GWh (gravity based GBF)) bedraagt en de CO2-uitstoot (22.000 ton (JF) tot 23.000 ton (GBF). Tijdens de transportfase bedraagt de schatting van een windturbine op JF of GBF, respectievelijk 140 en 152 MWh. Hierbij zou een CO2-uitstoot van ca. 36,5 en 38,5 ton gegenereerd worden. Tenslotte wordt een energieverbruik van 400 tot 500 MWh ingeschat tijdens de het plaatsen van de windturbine. Tijdens deze fase zou in dat geval ca. 114 tot 142 ton CO2 vrijkomen. Het leggen van de parkbekabeling en plaatsen van de OHVS zijn hierbij niet in rekening gebracht.

Voor de complete constructie van de turbines en het windmolenpark zullen de bijkomende emissies een verwaarloosbare negatieve invloed hebben op de luchtkwaliteit.

0.3.2.2.2 Productiefase

Tijdens de productiefase worden de verschillende onderdelen van de windturbine aangemaakt, ook het winnen van de benodigde grondstoffen wordt hierin meegenomen. Uit de LCA (IMDC, 2013c) blijkt dat deze fase de grootste negatieve impact heeft op het klimaat. Het type fundering dat gekozen wordt heeft een belangrijke invloed op de totale energieconsumptie en uitstoot van broeikasgassen die gegenereerd worden tijdens de productiefase. Tijdens de productiefase van een 10 MW windturbine wordt ca. 11,3 GWh energie verbruikt. Bij de productie van een transitiestuk voor een dergelijke turbine wordt ca.

725 MWh aan energie gebruikt. De totale energieconsumptie voor de productie van een 10 MW turbine op JF bedraagt ca. 16 GWh, voor een gelijkaardige turbine op een GBF wordt ca. 18 GWh energie gebruikt. Hierbij komt respectievelijk ca. 22.000 en 23.000 ton CO_2 vrij. De productie van de verschillende onderdelen zal niet plaatsvinden in de concessiezone zelf en heeft dus geen invloed op de lokale luchtkwaliteit.

0.3.2.2.3 Transportfase

De transportfase omvat enerzijds het transport van de onderdelen van de turbines van de plaats van productie naar een nabijgelegen haven, en anderzijds ook het transport van de turbines en hun funderingen van deze haven naar het SeaStar concessiegebied. In IMDC (2013c) wordt verondersteld dat de turbines ergens in Noord-Duitsland of Denemarken gemaakt zullen worden, zowel de productiefaciliteiten van RE-power, Vestas, Samsung als Areva bevinden zich in dit deel van Europa. Van de transitiestukken en funderingen wordt verondersteld dat ze in België zelf geproduceerd zullen worden.

Het totale energieverbruik voor alle transport van een 10 MW turbine is afhankelijk van het type fundering dat toegepast zal worden, een GBF wordt immers in de haven zelf aangemaakt, maar is dan weer veel moeilijker te vervoeren dan een JF of MP, die vaak met een aantal tegelijkertijd naar de concessiezone worden gebracht. In IMDC (2013c) bedraagt de schatting voor alle transport van een windturbine op JF of GBF, respectievelijk 140 en 152 MWh. Hierbij zou een CO_2-uitstoot van ca. 36,5 en 38,5 ton gegenereerd worden. Bij de berekeningen werd rekening gehouden met gekende types schepen met specifiek vermogen en brandstofverbruik per kilometer. Aangezien het Kanaal tot de drukst bevaren scheepvaartroutes ter wereld behoort wordt verwacht dat de uitstoot gegenereerd door het transport van de turbines naar de SeaStar concessie slechts een zeer beperkte invloed zal hebben op de lokale luchtkwaliteit.

0.3.2.2.4 Operationele fase

Tijdens de operationele fase zal er een beperkt energieverbruik zijn voor inspectie en onderhoud van het turbinepark. In de LCA van IMDC (2013c) wordt het totale energieverbruik tijdens de operationele fase geschat op ca. 1.640 MWh per turbine. Door het afsluiten van de Belgische windconcessiezone voor de scheepvaart, zullen schepen wel langere afstanden moeten afleggen. Dit heeft echter maar een zeer beperkte extra uitstoot van broeikasgassen tot gevolg.

Het belangrijkste effect tijdens de operationele fase is evenwel de vermeden emissies op het land als gevolg van het feit dat de netto elektriciteitsproductie van het windmolenpark niet door middel van klassieke, al dan niet in combinatie met nucleaire, productie dient te worden opgewekt. In de praktijk zullen deze emissies niet strikt vermeden worden, maar zal de toename van de totale emissies afgeremd worden.

De jaarlijks vermeden emissies, berekend op basis van de emissiefactoren voor klassieke elektriciteitsproductie bedragen 4,2% (800 GWh) tot 7,4% (1.400 GWh) van de emissies door klassieke productie in België voor alle polluenten. De jaarlijks vermeden emissies, berekend op basis van de emissiefactoren voor gecombineerde klassieke en nucleaire productie, bedragen 2,3% tot 4,0% van de emissies door klassieke productie in België voor alle polluenten.

Indien de elektriciteitsproductie door dit windmolenpark effectief aanleiding zou geven tot een equivalente vermindering van de elektriciteitsproductie op land door middel van klassieke thermische productie, zal dit leiden tot een significant positief effect op de luchtkwaliteit op het land in het algemeen en het broeikaseffect en de zure depositie in het bijzonder. In werkelijkheid zal het project wellicht enkel leiden tot een afremmen van de stijgende emissies die bijdragen tot het broeikaseffect.

De positieve impact op het broeikaseffect zal op wereldschaal verwaarloosbaar zijn, maar de emissiereductie is niet onbelangrijk in het licht van de Belgische reductiedoelstellingen voor CO_2. De Europese Unie heeft voor België een doelstelling vastgelegd op een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de niet-ETS sectoren met minstens 15% in 2020 ten opzichte van 2005 (LNE, 2012). 1 februari 2013 werd het Derde Vlaams Klimaatsbeleidplan goedgekeurd voor de periode 2013-2020 waarbij de effectief vermeden emissies tengevolge van het windmolenpark significant zullen bijdragen tot het behalen van deze doelstelling.

De effecten van het windmolenpark op het lokale windklimaat (windsnelheid, turbulentie) zullen beperkt blijven tot relatief lokale effecten. Ook het negatieve effect van de warmteafgifte van de ingegraven kabels op het lokale temperatuursklimaat zal beperkt blijven tot de zeer nabije omgeving in de bodem.

0.3.2.2.5 Ontmantelingsfase

Gedurende de ontmanteling van het windmolenpark zullen het globale klimaat en het lokale windklimaat geen effecten ondervinden.

De ontmantelingsfase heeft een positieve invloed op het energieverbruik omdat ca. 80% van het turbinemateriaal kan worden hergebruikt. De winning van nieuwe grondstoffen wordt hierdoor beperkt.

De impact op de luchtkwaliteit als gevolg van emissies van vaartuigen die worden ingezet bij de ontmanteling is - zoals in de constructiefase - lokaal (ter hoogte van de locatie waar de windturbines staan), beperkt in de tijd en zeer beperkt in vergelijking met de totale emissies door scheepvaart in het Kanaal, zodat de negatieve impact op de luchtkwaliteit gering is. Bovendien kan worden aangenomen dat de transport emissies tijdens de afbraakfase per transporteenheid lager zullen zijn dan bij de aanlegfase de emissiefactoren van transportschepen binnen zowat 20 à 25 jaar aanzienlijk lager zullen liggen dan momenteel het geval is.

0.3.2.3 Milderende maatregelen

Gezien de windturbines globaal gezien verantwoordelijk zijn voor een significante emissiereductie in vergelijking met klassieke centrales op land en de impact op de luchtkwaliteit tijdens de constructie- en ontmantelingsfase beperkt blijft, dringen milderende maatregelen en compensaties met betrekking tot de discipline atmosfeer zich niet op.

0.3.3 Geluid en trillingen

0.3.3.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

Zowel op zee (offshore), als aan de kustzijde (onshore), is het lawaai van de golven bepalend voor het achtergrondgeluidsniveau boven water. Tijdens een stille zee worden de laagste geluidsniveaus verwacht met een achtergrondgeluidsniveau van ca. 45 dB(A) op zee en ca.

35 à 40 dB(A) tijdens de nachtperiode aan de kustzijde. Bij zwaardere zee kunnen zich hier bovenop geluidsverhogingen van meer dan 10 dB(A) voordoen. Op 25 m van de kustlijn ligt het achtergrondgeluidsniveau tussen 50 tot 65 dB(A). Bovendien is het geluidsniveau afhankelijk van de windrichting en de windsnelheid. De hoogste geluidsniveaus worden waargenomen bij wind vanuit de zee, en bij toenemende windsnelheden.

Onder water wordt het omgevingsgeluid bepaald door enerzijds natuurlijke geluiden anderzijds door antropogene geluiden. Bij gunstige weersomstandigheden (2-3 Beaufort, zeegang 1-2, kabbelende tot licht golvende zee) werd aan de Thorntonbank een natuurlijk achtergrondgeluidsniveau van ongeveer 95 tot 100 dB (re 1µPa) opgemeten in het frequentiegebied van 10 tot 2.000 Hz. Bij minder gunstige weersomstandigheden (3-4 Beaufort, zeegang 2-3, licht golvende tot golvende zee) steeg het laagfrequent ruisniveau tot 130 dB. In de zomerperiode kan het achtergrondgeluidsniveau bovendien met 7 dB toenemen. Voorbijvarende schepen kunnen voor een tijdelijke verhoging zorgen van het achtergrondgeluidsniveau (tot +10 dB op het max. achtergrondgeluidsniveau) in hetzelfde frequentiegebied.

Op het gebied van geluid en trillingen is er globaal gezien geen significante verandering te verwachten bij de autonome ontwikkeling van het gebied. Enkel de (verdere) constructie en de exploitatie van de windmolenparken van C-Power, Belwind, Northwind, Norther en Rentel zullen voor een verandering zorgen.

0.3.3.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.3.2.1 Constructiefase

Wat de specifieke aspecten van de bouwwerkzaamheden betreft, kunnen er drie relevante geluidsbronnen worden onderscheiden: het heien van de funderingen (voor monopile of jacket fundering), baggeren (voor gravitaire fundering en de helft van de monopile en jacket funderingen) en scheepvaart (voor transport van funderings- en turbine-elementen).

Boven water

De werking van een heimachine is zeer luidruchtig. Voornamelijk het sterk pulserend karakter kan zeer storend werken (30-60 slagen per minuut met elke slag een duur tussen de 50 en 100 ms). Op korte afstand van een hydraulische heimachine (circa 15 m) kunnen geluidsdrukniveaus voorkomen van 106 dB(A). Dit zijn echter maximale geluidsniveaus (piekniveau) tijdens de slag. Het huidig geluidsniveau van 50-65 dB(A) op 25 m van de kustlijn wordt echter niet verhoogd door de slag van het heiblok.

Baggertuigen, zijn in tegenstelling tot een voorbijvarend schip, een continue geluidsbron voor meerdere dagen per week in een bepaalde exploitatiezone. In een matig belastende situatie plant het geluid zich sferisch voort, en bereikt op een afstand van 0,7 km en op een afstand van 1,1 km een geluidsniveau van respectievelijk 45 en 40 dB(A) bij werking van één baggerwerktuig in het projectgebied. Zelfs indien meerdere baggertuigen simultaan worden ingeschakeld blijft het specifieke geluid aan de kustlijn nog steeds ruim onder het huidig achtergrondgeluidsniveau.

Een voorbijvarend schip zal een tijdelijke verhoging van het omgevingsgeluid onder en boven water veroorzaken. Echter, de invloed van de bijkomende schepen op het huidige totale omgevingsgeluid boven water is op zee globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart.

Onder water

Bij het heien van de funderingspalen bij monopile en jacket funderingen is het brongeluid dat onder water wordt waargenomen sterk afhankelijk van de diameter en de lengte van de paal, de lokale geologie en bathymetrie. De eerste twee factoren zijn van invloed op de hoeveelheid energie die nodig is om de paal in te heien, de laatste factor bepaalt de efficientie waarmee geluid verspreid wordt. Het gebruik van meerdere werktuigen voor het simultaan heien van palen kan aanleiding geven tot een potentiële uitbreiding van de impactzone. Uit literatuurgegevens volgt dat er tijdens het heien gemiddeld een geluidsniveau van 250 dBp-p (re 1 µPa) op 1 m afstand aanwezig is bij een paaldiameter van 4-5 m. Hieruit volgt dat er tijdens het heien van de funderingen op 20 km nog geluidsniveaus waargenomen kunnen worden die hoger zijn dan het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1 µPa).

Tijdens het baggeren zal het onderwatergeluid bij gunstige weersomstandigheden tot op enkele kilometers van de bron significant hoger zal zijn dan het aanwezig achtergrondgeluidsniveau.

De invloed van de bijkomende schepen op het huidige onderwatergeluid op zee is globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart.

0.3.3.2.2 Operationele fase

Boven water

In een matig belastende situatie plant het geluid zich sferisch voort, en bereikt op een afstand van 1,0-1,5 km en op een afstand van 2,2-2,8 km een geluidsniveau van respectievelijk 45 en 40 dB(A). Aan de rand van de veiligheidszone (zone van 500 m rond het park) zal het geluidsniveau lager zijn dan 50 dB(A). Dit is vergelijkbaar met het geluidsniveau veroorzaakt door licht autoverkeer op 30 m, regen, koelkast, afwasmachine, omgevingsgeluid in het bos.

Het specifieke geluid berekend ter hoogte van een waarnemer aan de kust bedraagt ca. 8-10 dB(A) afhankelijk van het gekozen scenario voor het SeaStar windmolenpark.

Onder water

Rekening houdende met een transmissieverlies van Thiele zal er op een afstand van 500 m (= grens veiligheidszone) van de windturbine onder water een transmissieverlies van 40 dB voorkomen, waardoor het specifieke geluid van een windturbine onder water vermoedelijk gemaskeerd zal zijn door het achtergrondgeluid (zoals reeds eerder opgemeten aan de Thorntonbank). Voor een groep van windturbines, zoals opgemeten in de Baltische Zee, kan op een afstand van 500 m van het windmolenpark een max. geluidsniveau onder water van 110 dB worden verwacht, dit bij een windsnelheid van 8-10 m/s (5 Beaufort).

Er wordt slechts een gering negatief effect verwacht tengevolge van het onderwatergeluid tijdens de exploitatie voor alle beschreven uitvoeringsscenario's. De relatieve impact t.o.v. de windconcessie of het BDNZ is dan ook verwaarloosbaar.

0.3.3.2.3 Ontmantelingsfase

Bij de ontmanteling van het windmolenpark worden monopile en jacket funderingsstructuren ontmanteld tot op 2 m beneden de zeebodem. De bodem rond de turbine wordt afgegraven en vervolgens wordt de windturbine afgezaagd. Het gebruik van een zaagmachine onder water zal zorgen voor een verhoogd geluidsniveau onder water. Bij een gravitaire fundering wordt

deze leeggemaakt en in zijn geheel afgevoerd naar het land. De geluidsemissie van de werktuigen is beperkter dan voor een monopile of jacket fundering.

Door het afvoeren van de windturbines per schip zal er een tijdelijke verhoging zijn van het vrachtvervoer op zee vergelijkbaar met de constructiefase.

0.3.3.2.4 Bekabeling

Tengevolge van de bekabeling wordt een tijdelijke verhoging van het geluid verwacht zowel boven als onder water. Deze toename is slechts van één schip afkomstig, zal bovendien over een korte tijd waargenomen worden en zich daarenboven verplaatsen in functie van de ligging van het schip. De verhoging van onder- en bovenwatergeluid zal een verwaarloosbaar effect hebben t.o.v. de dagelijkse geluidsimmissie door de scheepvaart op de Noordzee.

0.3.3.3 Milderende maatregelen

Voor de bescherming van het leefmilieu van de fauna onder water kunnen bij het aanleggen van offshore windmolenparken verschillende milderende maatregelen worden aangegeven. Deze worden meer in detail besproken in het hoofdstuk 'Fauna, flora en biodiversiteit'.

Het aantal waarnemers op zee (offshore) die het geluid van de windturbines frequent zullen waarnemen is zodanig beperkt, dat het evenmin nuttig is om milderende maatregelen voor te stellen voor het bovenwatergeluid.

0.3.4 Fauna, flora en biodiversiteit

Het onderdeel fauna en flora behandelt vier verschillende groepen organismen, namelijk het benthos (macro- en epibenthos), vissen, vogels en zeezoogdieren. Aangezien harde substraten een nieuw habitat vormen met een specifieke fauna en flora, wordt deze besproken als een additionele vijfde groep.

0.3.4.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

0.3.4.1.1 Benthos en vissen

Mariene bodemdieren (of benthos) spelen een belangrijke rol in het voedselweb. Het benthos wordt hier verder opgesplitst in macrobenthos, zijnde organismen >1 mm die in de bodem leven; en epibenthos, organismen die op de bodem leven. Ze vormen de prooi voor talrijke andere organismen zoals demersale vissen. Daarnaast vormen ze een belangrijke bijdrage tot de productiviteit en de biodiversiteit van de zee, en zijn als dusdanig een belangrijke indicator voor de gezondheid van het marien milieu. De studie van de vissen legt de nadruk op de demersale vissen. Deze groep van vissen zal namelijk het meeste rechtstreekse hinder ondervinden van de geplande activiteiten.

De beschrijving van de referentiesituatie en de effecten op het bentos en de vissen is voornamelijk gebaseerd op studies uitgevoerd in het kader van het C-Power project naar de referentietoestand en monitoringsresultaten op de Thorntonbank en Blighbank (De Maersschalck *et al.*, 2006; Reubens *et al.*, 2009a, 2011 Vandendriesschie *et al.*, 2009, 2011, 2012; Coates & Vincx, 2010; Derweduwen *et al.*, 2010; Coates *et al.*, 2011, 2012). Vervolgens is een beroep gedaan op andere recente studies (incl. monitoringsrapporten) die data van verschillende onderzoeksprojecten gecompileerd hebben om te komen tot een gebiedsdekkende beschrijving van de benthosgemeenschappen op het BDNZ.

Langsheen de onshore-offshore gradiënt van het BDNZ kunnen vier algemeen voorkomende macrobenthische gemeenschappen worden onderscheiden. Daartussenin worden nog zes overgangsgemeenschappen gedefinieerd. Deze gemeenschappen worden elk gekenmerkt door karakteristieke soorten, diversiteit en dichtheid, en worden elk in een specifieke en goedgedefinieerde omgeving waargenomen. Op basis van het habitatgeschiktheidsmodel van Degrear *et al.* (2008) blijkt dat het projectgebied voornamelijk geschikt is voor de armere *N. cirrosa* en *O. limacina* gemeenschappen, en in beperkte mate voor de rijke *A. alba* gemeenschap. Aangezien deze voorspellingen gebaseerd zijn op een model, kan de effectieve verspreiding van de gemeenschappen niet met zekerheid worden weergegeven.

Volgens de biologische waarderingskaart wordt het projectgebied gekenmerkt door zowel een zeer lage als een zeer hoge biologische waarde voor het macrobenthos (Derous *et al.*, 2007). In Degraer *et al.* (2009) wordt de Blighbank niet weerhouden als potentieel habitatrichtlijngebied (habitattype 1110 – zandbanken) met bijzondere ecologische waarde. De Lodewijkbank komt echter wel in aanmerking als potentieel habitatrichtlijngebied, op basis van de biologische waarde en densiteit van het *N. cirrosa* biotoop. Voor de vorming van *Lanice conchilega* aggregaties is het projectgebied zo goed als niet geschikt.

Alle analyses betreffende de soortensamenstelling, densiteit, biomassa, diversiteit en lengte frequentie van het epibenthos toonden een duidelijk verschil aan tussen de zandbankstations en de geulstations op de Blighbank, waarbij hogere (tot zes keer hoger) densiteiten werden genoteerd in de geulen. Stalen uit geulen vertoonden echter wel een grotere onderlinge variatie dan zandbankstalen. De aangetoonde seizoenale, interannuele en ruimtelijke variatie was vooral het gevolg van wisselende proporties van een aantal algemene epibenthische soorten zoals de Grijze garnaal, twee soorten slangsterren, Heremietkreeft, Zwemkrab, Sepiola en Dwergpijlinktvis. De aanpalende geulen zijn dus in het algemeen diverser en rijker dan de zandbanken zelf, maar in vergelijking met de rijkere kustgebieden blijft het projectgebied toch van minder ecologisch belang.

Dezelfde redenering is geldig voor de demersale vissen, de geulen zijn diverser en rijker dan de zandbanken, vooral in de lente. In het voorjaar waren in termen van densiteit de belangrijkste soorten Sprot en Haring, naast Rasterpitvis. Het najaar werd overheerst door Horsmakreel, Kleine pieterman, beide pitvissen, Dikkopje, Dwergtong en Schar. Visdensiteiten waren algemeen hoger in de herfst dan in de lente (met uitzondering van de haringachtigen).

Voor de autonome ontwikkeling mag gesteld worden dat de benthosgemeenschappen en de demersale visfauna niet wezenlijk zouden veranderen indien geen windmolenpark gebouwd en geëxploiteerd zou worden. Lange termijn trends en de recente monitoringsresultaten tonen namelijk geen significante wijzigingen in dominante soorten, enkel een algemene stijging in densiteit en soortenrijkdom. Andere activiteiten zoals visserij en aggregaatextractie, net als de klimaatsveranderingen, kunnen echter wel een invloed hebben op deze gemeenschappen.

0.3.4.1.2 Vogels

Vanaf de periode 2008 werd de Blighbank intensief gemonitord. De resultaten van deze tellingen aan dat de gemiddelde vogeldensiteiten op de Blighbank nooit hoger lagen dan het gemiddelde van het BDNZ. Ook volgens de biologische waarderingskaart van Derous *et al.* (2007) heeft het projectgebied een zeer lage tot gemiddelde ecologische waarde. Doordat de Blighbank op ruime afstand van de kust is gelegen, komen er in dit gebied zo goed als geen Roodkeelduikers, Futen, Zwarte Zee-eenden en Sternen voor. Zes soorten komen wel in relatief hoge densiteiten voor, namelijk Noordse stormvogel, Grote jager, Dwergmeeuw,

Kleine mantelmeeuw, Drieteenmeeuw en Zeekoet. Voor de Blighbank zijn echter enkel de Dwergmeeuw en de Grote Jager van belang.

Bij het niet installeren van het SeaStar windmolenpark mag verondersteld worden dat de waarde voor vogels van de site nagenoeg hetzelfde zal blijven. De aanwezigheid van de naburige windmolenparken kan de autonome ontwikkeling echter beïnvloeden.

0.3.4.1.3 Zeezoogdieren

De zoogdiersoorten die in de Belgische wateren als inheems beschouwd worden, zijn de Bruinvis, de Gewone en Grijze zeehond, de Tuimelaar en de Witsnuitdolfijn (Haelters, 2009; 2010). Tot 2003 werden zeezoogdieren slechts sporadisch waargenomen tijdens zeevogeltellingen in de Belgische mariene wateren (Courtens *et al.*, 2006). Hierbij ging het hoofdzakelijk om zeehonden (zowel de Gewone als de Grijze zeehond) en Bruinvissen. Sinds het voorjaar van 2003 worden in toenemende mate zeezoogdieren gemeld, waarbij vooral het grote aantal Bruinvissen en Witsnuitdolfijnen in het oog springen. De oorzaak voor dit verschijnsel dient mogelijk gezocht te worden in de sterk verslechterde voedselomstandigheden in het noordelijkere verspreidingsgebied van deze soorten, hoewel andere oorzaken niet kunnen worden uitgesloten (Courtens *et al.*, 2006).

Alle zeezoogdieren zijn beschermde soorten. België heeft voor de zeezoogdieren verplichtingen op zich genomen om ze te beschermen en om negatieve impacten zoveel mogelijk te vermijden. Walvisachtigen en zeehonden zijn namelijk soorten die opgenomen zijn in de Europese Habitatrichtlijn Bijlage II en IV. Dit betekent dat ze niet opzettelijk verstoord mogen worden tijdens de overwintering, voortplanting en trek (artikel 12). Verder heeft België ook in het kader van ASCOBANS (Overeenkomst inzake de bescherming van de kleine walvisachtigen in de Oostzee en de Noordzee) aanvaard dat de partijen zouden streven naar het vermijden van significante verstoring, in het bijzonder van akoestische aard (Conservation and Management Plan in de Bijlage van de Overeenkomst) (BMM, 2007).

Tijdens de migratie maakt een groot deel van de Noordzeepopulatie van de Bruinvis gebruik van het BDNZ. Daarom wordt het BDNZ seizoenaal als belangrijk beschouwd voor de Bruinvis binnen Europa, voornamelijk in de late winter tot het vroegere voorjaar (Haelters, 2009; Haelters & Camphuysen, 2009; Degraer *et al.*, 2010b). Gezien de Bruinvis in veel grotere aantallen dan de overige zeezoogdiersoorten voorkomt in het BDNZ, en gezien de Bruinvis zeer gevoelig blijkt te zijn voor verstoring, wordt de focus voor de effectbeschrijving gelegd op de Bruinvis.

0.3.4.1.4 Harde substraten

Op dit moment bevinden er zich nog geen harde substraten in het concessiegebied van SeaStar en dient er strikt genomen geen referentiesituatie te worden besproken voor de fauna van harde substraten. Om de bespreking van de effecten van het toekomstig windmolenpark te verduidelijken, wordt er echter hier al een beschrijving van de referentietoestand van de aanwezige turbines op de Thorntonbank en Blighbank gegeven.

De staalnamemethodiek en de resultaten van de monitoring van epifauna en visgemeenschappen van harde substraten op de Thorntonbank zijn beschreven door Kerckhof *et al.* (2009, 2010, 2011, 2012) en Reubens *et al.* (2009b, 2010, 2011). Epifauna wordt hier beschouwd als alle organismen (>1 mm) levend op harde substraten (funderingen, turbines, erosiebescherming).

Zoals reeds in talrijke andere studies werd waargenomen, vond er een snelle kolonisatie plaats van het beschikbare substraat. Niet minder dan de helft van het totale aantal aanwezige soorten (41 van de 78 taxa) werd in beide windmolenparken aangetroffen. Op allebei de windmolenparken was de amphipode *Jassa herdmani* dominant aanwezig met dichtheden tot 90.000 ind./m² . Andere dominante soorten in de beide windmolenparken waren de zeester en het vlokreeftje. Tijdens het eerste jaar verliep de successie in de windmolenparken zeer gelijkaardig. De sessiele soorten vertoonden een sterk verschillend kolonisatiepatroon waardoor de overeenkomsten na het eerste jaar minder duidelijk waren. Op de betonnen gravitaire funderingen van C-Power werden beduidend meer soorten aangetroffen dan op de stalen monopiles van Belwind (respectievelijk 70 en 49 soorten). Het verschil tussen beide parken werd bovendien nog benadrukt door het voorkomen op de C-Power funderingen van enkele soorten die typisch zijn voor kustgebonden mobiele sedimenten. De biologische aangroei op beide parken vertoont sterke gelijkenissen met de aangroeigemeenschappen op de artificiële en natuurlijke harde substraten in de omgeving en de rekrutering gebeurt blijkbaar uit een gemeenschappelijke soortenpool.

Er is reeds snel een duidelijke dieptezonering waar te nemen met een intertidale – spatzone, een overgangszone met *Jassa* zeepokken en een uitgebreide subtidale zone (soortenrijkst) met o.a. het mosdiertje *E. pilosa* en verschillende kleine mobiele soorten als krabben, kleine garnalen, wormachtigen, vlokreeftjes en zeeanemonen. Daarnaast bleken er in 2011 reeds 8 niet–inheemse soorten aanwezig (Kerckhof *et al.*, 2011).

De eerste resultaten voor de visgemeenschappen van harde substraten in België werden verkregen door Reubens *et al.* (2010). In totaal werden zeven verschillende vissoorten aangetroffen, waarvan vier soorten regelmatig: Steenbolk, Kabeljauw, Horsmakreel en Makreel. De visuele observaties, uitgevoerd tussen juli en oktober, toonden aan dat een populatie van minimum 29 000 Steenbolken aanwezig was rond één windturbine. Ook de prooisoorten van de Steenbolk (*Jassa herdmani* en *Pisidia longicornis*) komen in zeer hoge densiteiten voor als epifauna op de funderingen van de windmolens. (Reubens *et al.*, 2010).

Onderzoek van Reubens *et al.* (2011) naar het gedrag en habitatgebruik van Kabeljauw in de buurt van windmolens suggereerde dat enerzijds dat ze er tot aangetrokken worden, en anderzijds dat de kleinschalige ruimtelijke verspreiding (i.e. habitat keuze) van individuele Kabeljauw wordt beïnvloed door de diurnale cyclus. Uitgebreider onderzoek is echter noodzakelijk.

Voor de autonome ontwikkeling mag gesteld worden dat het aantal harde substraten als potentieel habitat voor epifauna en vissen in de toekomst verder zal toenemen ten gevolge van het aantal (nieuw) vergunde windmolenparken en de mogelijkheden die gecreëerd worden voor de productie van tweeklepige weekdieren in hangculturen (KB 07/10/2005). Tenslotte vormen ook wrakken een uitgelezen habitat voor epifauna en visgemeenschappen van harde substraten, maar hier wordt geen toename in aantal verwacht.

0.3.4.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.4.2.1 Benthos

Algemeen kan gesteld worden dat de effecten voor het macrobenthos en epibenthos gelijkaardig zullen zijn. Bijgevolg worden ze hier dan ook samen besproken als benthos.

Constructiefase

De effecten die kunnen optreden tijdens de constructiefase zijn biotoopverlies en verstoring, verlies aan organismen, sedimentatie en geluid en trillingen. Met uitzondering van de vernietiging van biotoop en organismen, zijn de andere effecten tijdelijk.

Door de installatie van de funderingen en de erosiebescherming van de windturbines en mogelijk het OHVS (offshore hoogspanningsstation) wordt een gedeelte van het oorspronkelijk zachte biotoop (voornamelijk zand met hier en daar grindbedden) door nieuwe structuren ingenomen en/of wordt het biotoop vernietigd bij nivellering of het baggeren van funderingsputten (direct biotoopverlies). Daarnaast is er ook een al dan niet tijdelijke biotoopverstoring tengevolge van stockage van het uitgebaggerde zand in geval van o.a. de gravitaire funderingstechniek (indirecte biotoopverstoring). De biotoopverstoring is afhankelijk van het aantal structuren, het funderingstype en de dimensies van de erosiebescherming.

Voor de monopiles en jacket funderingen waarbij niet genivelleerd wordt, is het direct biotoopverlies per turbine respectievelijk 1.018-1.104 m² en 16-28 m² (oppervlakte afhankelijk van het type turbine en aanwezigheid erosiebescherming), terwijl dit voor de gravitaire fundering ca. 26.350 m² is. Voor de monopiles en jacket funderingen waarvoor eerst genivelleerd wordt, bedraagt het direct biotoopverlies respectievelijk 9.450 m² en 9.400 m² per turbine. Al naargelang het type fundering zal het totale directe verlies aan zandig biotoop door het volledige windmolenpark (inclusief transformator stations) variëren tussen 4,3 ha (basisconf., MP met dynamische erosiebescherming) en 245 ha (conf. 1, GBF) of respectievelijk 0,2%-11,6% van het concessiegebied. Het direct biotoopverlies varieert dus van praktisch onbestaande (MP met dynamisch erosiebescherming) tot matig negatief (GBF).

Bij de keuze voor gravitaire funderingen komt een substantiële verstoring van het biotoop door het - al dan niet tijdelijk - stockeren van het uitgebaggerde zand (ca. 63.000 m³/GBF). Voor de monopiles en jacket funderingen waarvoor genivelleerd zou moeten worden, bedraagt het te storten volume respectievelijk ca. 13.300 m³/MP en 11.200 m³/JF. De oppervlakte van de bodemverstoring ten gevolge van de stockage is afhankelijk van het gekozen stockeringsscenario en varieert in een worst case scenario (conf. 1, GBF) tussen 397 ha (1 m stockage) en 79 ha (5 m stockage).

Er treedt duidelijk een schaalvergroting op van het totale biotoopverlies (direct en indirect) bij de keuze voor gravitaire fundering ten opzichte van de monopile of jacket fundering. Dit grote verschil is hoofdzakelijk te wijten aan het afwezig zijn of slechts beperkt voorkomen van indirect biotoopverlies voor stockage van zand bij de keuze voor een monopile of jacket fundering. Het scenario waarbij gekozen wordt voor een stockage van het uitgebaggerde zand (GBF) in een laag van 5 m betekent een daling van de verstoring met ongeveer 80%. De totale biotoopverstoring (erosiebescherming + stockage) in het scenario van 5 m stockage (meest waarschijnlijk) bij de gravitaire fundering blijft aanvaardbaar (8,9% (basisconf., GBF) tot 11,6% (conf. 1, GBF) van het concessiegebied), zeker in vergelijking tot het gehele BDNZ (< 0,1%). Het projectgebied wordt bovendien niet gekenmerkt door speciale natuurwaarden waardoor er kan besloten worden dat het verlies aan biotoop voor benthische organismen een gering (MP, JF) tot matig (GBF stockage 5 m) negatief effect zal hebben voor het mariene ecosysteem.

Het verlies aan benthische organismen is recht evenredig met het biotoopverlies/verstoring. Ondanks het ontbreken van site-specifieke data (biomassa en populatiestructuur) kan het letale effect afgeleid worden uit de gegevens van de referentiestudie van de Thorntonbank waarbij het verlies aan biomassa (macro- en epibenthos) geraamd wordt op ongeveer 33 g/m²

(De Maersschalck *et al.*, 2006). Indien gekozen wordt voor een monopile of jacket fundering, wordt het negatieve effect als gering negatief beschouwd. In het geval van de gravitaire fundering krijgen we een significante stijging van het verlies aan organismen ten opzichte van de twee andere funderingstypes. Hier zal de invloed van de mortaliteit op de biomassa of op het functioneren van het plaatselijke ecosysteem naar verwachting een matig negatieve impact hebben. Herkolonisatie van het verplaatste zand (stockage) zal bovendien in alle waarschijnlijkheid binnen het jaar plaatsvinden. Doordat het gebied afgesloten wordt voor (boomkor)visserij, wordt ook een refugium gecreëerd voor het benthos. Het verlies van bodemorganismen ten gevolge van visserij (sterfte van 5-65%) wordt hierdoor vermeden (E-connection, 2007).

De baggeractiviteiten nodig voor het plaatsen van de funderingen en het storten van het uitgebaggerde zand (gravitair) zorgen niet enkel voor een (tijdelijk) verlies aan biotoop, maar ook voor een verhoogde sedimentatie en turbiditeit in de onmiddellijke omgeving van de werken. Bovendien is het SeaStar projectgebied gelegen in relatief helder Kanaal water met turbiditeitswaardes kleiner dan 10 mg/l (aangenomen achtergrondwaarde = 4 mg/l). Door de vertroebeling van de waterkolom dringt er minder licht door. Dit kan eventueel de groei (primaire productie) van het fytoplankton belemmeren waardoor mogelijks de voedselketen beïnvloedt wordt. Uit een baggerpluim modelleringsstudie (IMDC, 2013b als externe bijlage) blijkt dat bij het baggeren van één funderingsput, de achtergrond turbiditeit van 4 mg/l maximaal 10% van de totale uitvoeringstijd zal overschreden worden (3,5 uur). Concentraties hoger dan 4 mg/l worden niet verder dan 2,5 km van de dumpzone verspreidt, de pluim zelf is nooit groter dan 500 m in diameter. Er kan verondersteld worden dat de verstoring door sedimentatie ten gevolge van de baggeractiviteiten voor SeaStar een matig negatief effect zal zijn indien gekozen wordt voor gravitaire funderingen. In het geval van monopile of jacket funderingen zal dit slechts een gering negatief effect zijn.

Onderwatergeluid heeft waarschijnlijk de meeste invloed op vissen en zeezoogdieren. Toch kunnen trillingen en drukveranderingen tengevolge van geluid een effect hebben op invertebraten zoals de crustacea (Popper *et al.*, 2001). Studies op Horns Rev en Nysted tonen echter aan dat de geluidsimpact van het heien van palen verwaarloosbaar is voor benthische gemeenschappen (Dong Energy *et al.*, 2006).

Operationele fase

Tijdens de operationele fase zijn de mogelijke effecten op het benthos beperkt tot veranderingen in de hydro-fysico-chemische toestand van het projectgebied en effecten door geluid en trillingen.

De waterkwaliteit zal niet negatief beïnvloed worden door het potentieel vrijkomen van olie of de aanwezigheid van corrosiebescherming. Er worden ook geen effecten verwacht in de zuurstofhuishouding. Er worden bijgevolg geen effecten verwacht op het onderwaterleven.

Gezien het negatieve effect van geluid op het benthos tijdens de constructiefase als verwaarloosbaar wordt ingeschat, wordt het effect tijdens de exploitatiefase als vrijwel onbestaande beoordeeld voor alle configuratiealternatieven.

Er worden ook geen negatieve effecten verwacht op de oorspronkelijke benthische gemeenschappen ten gevolge van veranderingen in de hydrodynamiek door de aanwezigheid van windmolenparken op de zeebodemstructuur (Bio/consult as, 2005; Dong energy *et al.*, 2006).

Aangezien windmolenparken een aantrekking kunnen uitoefenen op vogels en vissen, onder meer door een verhoging van het voedselaanbod, kan de predatiedruk op bentische gemeenschappen wel mogelijk worden verhoogd (Leonhard & Pedersen, 2006).

Ontmantelingsfase

Algemeen mag worden gesteld dat de effecten van de ontmantelingfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de bouwfase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn.

Bekabeling

De belangrijkste effecten op het benthos tengevolge van de bekabeling zijn biotoopverstoring, turbiditeit, elektromagnetische velden en mogelijk opwarming.

Zowel tijdens de voorbereidingswerken als tijdens de offshore installatie van de kabels zal er een tijdelijke en lokale biotoopverstoring optreden. Tijdens de voorbereidingswerken zal dit vooral het geval zijn tijdens de nivellering of pre-sweeping en pre-run, aangezien hierbij er een soort van sleep- en/of baggertechniek zal gehanteerd worden, waarbij de bodem lokaal wordt omgewoeld. Aangezien deze verstoring in vergelijking met het volledige BDNZ als beperkt in omvang kan aanzien worden, wordt het effect van biotoopverstoring op het benthos als verwaarloosbaar beoordeeld. Bijkomend kan er bovendien van uit gegaan worden dat er na de werkzaamheden een natuurlijk herstel van de benthosgemeenschap zal optreden.

De verhoogde turbiditeit die zal optreden door de voorbereidingswerken en het leggen van de kabels voor het SeaStar windmolenpark is van een veel kleinere grootteorde als deze beschreven tijdens de constructiefase en wordt als vrijwel onbestaande beschouwd.

De transmissie van elektriciteit door zeekabels zal leiden tot het opwekken van elektrische en magnetische velden. Deze elektromagnetische velden zijn afhankelijk van het type kabel. Sommige invertebraten zijn waarschijnlijk gevoelig voor elektromagnetische velden, maar uitgaande van de beschikbare kennis is de grootte van de impact en de oorzaak-relatie nog niet voldoende duidelijk (Gill *et al.*, 2005; Dong Energy *et al.*, 2006, BERR, 2008).

De kabels die ingegraven worden zullen een zekere warmteafgifte bezitten. Wegens de diepteligging op zich en de aangepaste isolatie van de elektrische kabels, zal dit voor een beperkte en zeer lokale opwarming zorgen van de zeebodem aan het oppervlak. Het effect wordt als onbestaande (epibenthos) tot verwaarloosbaar beoordeeld (macrobenthos).

0.3.4.2.2 Vissen

Constructiefase

Enkele effecten op de vissen tengevolge van de bouwfase zijn gelijkaardig aan die beschreven voor het deel ‘Benthos’, zoals habitatverlies en biotoopverstoring. Het verlies aan organisme zal echter beperkter zijn gezien de grotere mobiliteit van vissen.

Alle levensstadia van vissen zullen ook tijdelijk verstoord worden door het omwoelen van de zeebodem, door onderwaterbewegingen en andere activiteiten op de zeebodem, maar de kans is groot dat zij zullen wegtrekken van de plek waar de werkzaamheden worden uitgevoerd, zodat het effect minder groot zal zijn dan bij sedentaire organismen (IMDC, 2010a). Het negatieve effect zal dus tijdelijk zijn en naar verwachting zullen de organismen snel naar het projectgebied terugkeren zodra de bouwfase achter de rug is. De mogelijkheid bestaat dat de paai- en kraamgebieden tijdens de constructiefase worden verstoord, maar dat ze zich zullen herstellen en opnieuw aantrekkelijk zullen worden tijdens de operationele fase.

Op zich kan de verstoring ook een positieve impact hebben: met name de verhoogde beschikbaarheid van prooidieren door o.a. het omwoelen van het sediment (Grontmij, 2006).

Een belangrijke verstoring tijdens de bouwfase is de productie van geluid en trillingen tengevolge van het heien (bij monopile en jacket funderingen), het leggen van kabels en de toegenomen scheepvaart. Het bepalen van de grootte van de verstoring is echter niet evident daar er nog veel onzekerheden bestaan o.a. rond transmissieverliezen en dus ook rond de reikwijdte van de geluidsverstoring. Deze verstoring kan tot significante effecten (gehoorschade, bloedingen, sterfte, gedragsveranderingen) leiden bij bepaalde vissen. Naast de mogelijke effecten op adulte vispopulaties, kunnen ook de vislarven effecten ondervinden van heiactiviteiten. Volgens Prins *et al.* (2008; 2009) mag aangenomen worden dat mortaliteit optreedt binnen een straal van 1 km van de geluidsbron (worst case scenario), hoewel dit volgens andere studies genuanceerd dient te worden (Bolle *et al.*, 2011).

Ondanks de onzekerheid is duidelijk dat het effect van het heien zal toenemen met het aantal te plaatsen turbines en met een toenemende diameter van de paal. Op basis van de beschikbare literatuur kan men het effect van heien op vispopulaties als matig negatief beschouwen voor de configuraties waarbij monopiles of jacket funderingen geheid worden. Niettegenstaande de heiactiviteiten van relatief korte duur zijn, is het project waarbij gebruik gemaakt wordt van monopiles of jacket funderingen enkel aanvaardbaar mits toepassing van een aantal mitigerende maatregelen en een monitoringsprogramma, om de significant negatieve effecten zo minimaal mogelijk te houden. De impact van geluid bij een gravitaire fundering is praktisch onbestaande in vergelijking met de twee andere funderingstypes. Hier is namelijk enkel de geluidsverstoring van baggerende schepen, die veel lager wordt ingeschat dan heigeluid, een toename van het scheepsverkeer en het storten van de erosiebescherming van belang. Ook wanneer men gebruik maakt van het suction bucket principe, waarbij monopiles en jacket funderingen niet geheid worden, zal de impact van geluid en trillingen wegvallen.

Operationele fase

Zoals besproken voor het benthos, worden ook hier geen effecten verwacht tengevolge van de waterkwaliteit, zuurstofhuishouding en hydrodynamiek. Naast algemene vormen van verstoring wordt specifiek ingegaan op het effect van geluid en trillingen geproduceerd tijdens de operationele fase op de visgemeenschappen.

Norro *et al.* (2011) toonden aan dat bij de gravitaire funderingen op de Thorntonbank een lichte stijging van het geluidsdrukniveau voorkomt ten opzichte van het omgevingsgeluid gemeten voor de bouw. Een belangrijke verhoging in het geluidsdrukniveau werd waargenomen rond monopile funderingen. Dergelijke geluidsemissies zijn veel lager dan tijdens de bouwfase, vooral indien de bouwfase het heien van palen vereist. Deze operationele geluidsemissies vinden echter plaats tijdens de gehele levensduur van het windmolenpark.

De meeste vissen reageren sterk op lage frequenties (beneden de 50 Hz). Deze frequenties treden enkel op in de onmiddellijke omgeving van de windturbines (max. enkele honderden meters). Frequenties tussen de 500-2000 Hz zullen praktisch geen effect hebben op vissen, zeker omdat de invloed van de windturbines gelijkaardig is aan het omgevingsgeluid (Hoffmann *et al.*, 2000; Thomsen *et al.*, 2006). Het onderwatergeluid veroorzaakt door de windturbines zal vermoedelijk binnen de veiligheidszone (500 m) (voor de meeste frequenties) gemaskeerd worden door het heersende achtergrondgeluid en dus geen invloed hebben op de meeste vissoorten. Er zal ook gewenning optreden voor het continue geluid uitgezonden

door windmolenparken. Bij hoge windsnelheden (≥ 13 m/s) wordt verwacht dat gevoelige vissoorten op een minimale afstand van 4 meter blijven van de windturbine (Wahlberg & Westerberg, 2005), waardoor permanente vestiging van vis op de stortstenen bemoeilijkt zal worden. Uit monitoring van het Horns Rev windmolenpark in Denemarken blijkt ook dat vissen geen hinder ondervinden van geluid en trillingen en dat zelfs enkele nieuwe vissoorten zich hebben gevestigd in het gebied (Leonhard & Pedersen, 2005). Ondanks de onzekerheid die bestaat rond kwantitatieve inschattingen van geluidseffecten op vissen tijdens de operationele fase van het windmolenpark, kan verondersteld worden dat deze effecten van minder belang zijn en dat technologische verbeteringen mogelijks nog kunnen leiden tot verdere reducties van de impact. Voor alle beschouwde configuratiealternatieven wordt dit effect als gering negatief beschouwd.

Door een mogelijke sluiting van het gebied voor bepaalde activiteiten, zal anderzijds het concessiegebied niet langer verstoord worden door destructieve visserijvormen (vooral boomkorvisserij). Dit zal een positief effect hebben op het visbestand (refugium effect).

Ontmantelingsfase

Algemeen mag worden gesteld dat de effecten van de ontmantelingsfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de bouwfase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn. De significante geluidsverstoring tengevolge van het heien (monopile/ jacket fundering) tijdens de constructiefase is tijdens de ontmantelingsfase niet meer aanwezig. Ook het biotoopverlies en het daarmee gepaard gaande verlies aan organismen blijft beperkt tot de oppervlaktes die effectief verstoord worden tijdens de ontmantelingsfase. De effecten variëren van (vrijwel) geen effect tot een gering negatief effect, afhankelijk van het configuratiealternatief.

Bekabeling

De effecten tengevolge van de bekabeling voor de demersale visfauna zijn biotoopverstoring, verhoogde turbiditeit en het ontstaan van elektromagnetische velden. De effecten van biotoopverstoring en turbiditeit zijn analoog met het benthos.

De transmissie van elektriciteit door zeekabels zal leiden tot het opwekken van elektrische en magnetische velden, die ook buiten de kabel detecteerbaar zijn. Deze elektromagnetische velden zijn afhankelijk van het type kabel en het vermogen van de kabel. Elektromagnetische velden kunnen een effect hebben op bepaalde gevoelige vissoorten, meer bepaald op hun oriëntatiegedrag, hun migratiegedrag, hun jachtgedrag en het algemeen voorkomen rond de kabels, maar uitgaande van de beschikbare kennis is de grootte van de impact en de oorzaak-effect relatie nog niet voldoende duidelijk. Het effect is het best gekend en het grootst voor de roggen en haaien die praktisch niet in het projectgebied voorkomen. Op basis van dit gegeven, het lokale karakter van het effect en het gegeven dat ingraven tot 1 m (parkkabels) à ≥ 2 m (exportkabel) diepte milderend werkt (reductie met kwadraat van de diepte), kan voorlopig aangenomen worden dat er op populatieniveau geen effect zal zijn op de visfauna.

De kabels die ingegraven worden zullen een zekere warmteafgifte bezitten. Wegens de diepteligging van de kabels, zal dit voor een beperkte en zeer lokale opwarming zorgen van de zeebodem aan het oppervlak. Het effect op vissen wordt als onbestaande beoordeeld.

0.3.4.2.3 Vogels

Constructiefase

Tijdens de constructiefase kunnen volgende effecten een significante verstoring veroorzaken op bepaalde soorten als gevolg van de werkzaamheden: barrièrewerking door geluidsverstoring, sedimentatie en wijzigingen in voedselbeschikbaarheid.

Tijdens de werkzaamheden kan er een barrièrewerking optreden ten opzichte van de migrerende vogels. Deze barrièrewerking zal voornamelijk het gevolg zijn van de geluidsproductie ter hoogte van het concessiegebied en de aanwezigheid van de schepen. Verstoringsgevoelige soorten kunnen door het geluid tijdelijk het gebied vermijden, terwijl andere soorten mogelijk voordelen kunnen hebben van de werkzaamheden door het tijdelijk beschikbaar komen van voedsel door het omwoelen van de bodem en verhoogde scheepsactiviteit (Stienen *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006). De nabijgelegen Blighbank is echter niet van bijzonder belang voor deze verstoringsgevoelige soorten (Vanermen & Stienen, 2009), waardoor er algemeen gezien geen significant negatieve effecten worden verwacht.

Indien gravitaire funderingen gebruikt worden moet er een grote hoeveelheid zand gebaggerd en verplaatst worden. Door de opwerveling van het bodemsediment kunnen visueel prederende vogelsoorten zoals sternen moeilijkheden ondervinden tijdens het foerageren. Het effect is echter slechts tijdelijk van aard en beperkt in uitbreiding. Bijgevolg worden er ten aanzien van de oogjagende zeevogels geen significant negatieve effecten verwacht. Het effect wordt als gering negatief beoordeeld.

Door het heien kunnen er negatieve effecten op vislarven zijn. De rekrutering van de betrokken soorten kan beïnvloed worden en een verminderd voedselaanbod betekenen voor visetende vogelsoorten. Dit kan een gering negatief effect hebben op vogels.

Operationele fase

Tijdens de operationele fase kunnen vogels op diverse manieren hinder ondervinden van windturbines. In de eerste plaats kunnen zij met delen van de turbines in aanvaring komen en daarbij gedood worden of gewond raken (aanvaringsaspect). Daarnaast kunnen vogels door de turbines worden verstoord, waarbij onderscheid gemaakt moet worden tussen directe effecten in de vorm van verlies aan geschikte foerageer- of rustgebieden, beperking van de vliegroutes van de vogels en indirecte effecten door verstoring door de aanwezigheid, de beweging of het geluid van de turbines (verstoringsaspect) (Stienen *et al.*, 2002).

Wat het aanvaringsaspect betreft, wordt dit effect vooral bepaald door de hoeveelheid vogels die er passeren (flux) en de vlieghoogte. Op basis van de reeds beschikbare monitoringsresultaten (Vanermen & Stienen, 2009) kan er verwacht worden dat vooral grote meeuwen (Grote mantelmeeuw, Kleine mantelmeeuw, Zilvermeeuw) een grote kans op aanvaring vertonen door hun grootte en hun vlieghoogte (kans van 1/500). Andere soorten zoals Grote jager en Jan-van-gent zijn eveneens gevoelig voor aanvaring door hun grote formaat en lage wendbaarheid. Alk en Zeekoet vliegen nooit op rotorhoogte. Op basis van de huidige monitoringsresultaten worden er weinig verschillen verwacht m.b.t. aanvaring in relatie tot de types van windturbines. Er kan wel aangenomen worden dat hoe meer turbines er aanwezig zijn, hoe groter de kans op aanvaring zal zijn.

Tijdens het monitoringsonderzoek op de Thorntonbank en de Blighbank in 2010 en 2012 werden er verrassend genoeg nu reeds significante effecten gevonden als gevolg van de aanwezigheid van offshore windturbines (Vanermen *et al.*, 2011, 2012). Voor de

Thorntonbank werden voorlopig enkel aantrekkingseffecten vastgesteld, i.e. voor Dwergmeeuw, Grote Mantelmeeuw, Drieteenmeeuw, Grote Stern en Visdief. Hetzelfde geldt voor Stormmeeuw en Zilvermeeuw op de Blighbank, terwijl de Zeekoeten en Jan-van-Genten significant in aantallen afnamen. Anderzijds waren er op dat moment slechts 6 van de 54 geplande windmolens op de Thorntonbank aanwezig, en zijn deze resultaten hoe dan ook zeer voorlopig te noemen. Een aantrekking van vogels tot het windmolenpark kan echter wel een negatief effect veroorzaken op het aanvaringsrisico.

Wat de Bijlage I vogelsoorten van de Vogelrichtlijn betreft is het aanvaringsrisico voor Visdief en Grote stern gering. Op grond van de lage verstoringsgevoeligheid en het feit dat Dwergmeeuwen relatief laag over het water vliegen valt te verwachten dat de toekomstige inplanting van offshore windmolens in de trekroute van deze soort eveneens geen belangrijke impact zal hebben.

Ontmantelingsfase

Er wordt verwacht dat de effecten tijdens de ontmantelingsfase van dezelfde aard zullen zijn als deze tijdens de constructiefase en bijgevolg als gering negatief kunnen worden beoordeeld.

Bekabeling

Het aanleggen van de kabels kan een tijdelijke verstoring van de avifauna tot gevolg hebben. Voor beide kabelalternatieven wordt de SBZ-V3 Zeebrugge doorkruist. Het gericht marien reservaat 'Baai van Heist' en de SBZ-H Vlakte van de Raan (Europees aangemeld) worden niet doorkruist. Aangezien deze effecten echter tijdelijk en beperkt in omvang zijn, worden ze als gering negatief ingeschat. Tijdens de aanlandingswerkzaamheden van de kabel van C-Power in Oostende werden eveneens geen grote verstoringen vastgesteld (BMM, 2009).

De aanwezigheid van de kabels tijdens de operationele fase zal waarschijnlijk geen rechtstreeks effect hebben op de zeevogels.

0.3.4.2.4 Zeezoogdieren

Constructiefase

Tijdens de bouwfase kunnen zeezoogdieren hinder ondervinden door veranderingen in voedselbeschikbaarheid, verstoring als gevolg van de verschillende bouwactiviteiten, verhoogde scheepvaarttraffiek (concentratie-intensiteit) en verstoring door trillingen en geluiden als gevolg van het heien en baggerwerkzaamheden.

De bouw van windmolenparken kan de voedselbronnen beïnvloeden, waardoor de gebieden minder aantrekkelijk kunnen worden voor zeezoogdieren. Zo kan geluid geproduceerd door het heien van monopiles of jacket funderingen leiden tot vermijdingsgedrag bij vissen tot op enkele kilometers van het brongeluid. Zeezoogdieren kunnen door de lage voedselbeschikbaarheid het gebied (tijdelijk) verlaten of omdat het gebied niet langer geschikt is als broedgebied (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005).

Gezien het beperkt aantal bijkomende transporten in vergelijking met het huidige aantal al aanwezige scheepsbewegingen in het BDNZ (voornamelijk ter hoogte van de scheepvaartroutes), en gezien de niet permanente invloed worden er geen bijkomende negatieve effecten in de vorm van verstoring verwacht tengevolge van de algemene constructiewerkzaamheden van het windmolenpark (BMM, 2011). Er wordt verondersteld dat zeezoogdieren de site waar de constructieactiviteiten plaatsvinden en de onmiddellijke

omgeving ervan zullen verlaten, de site tijdelijk zullen mijden en na het beëindigen van de constructiefase terug zullen keren naar het windmolenpark.

Wat geluidsverstoring betreft, wordt verondersteld dat het heien van monopiles en jacket funderingen een significant negatief effect zal hebben op zeezoogdieren in de nabijheid van de heilocaties. Bepalende factoren voor het optreden van effecten op zeezoogdieren tengevolge van heiactiviteiten zijn het geluidsdrukniveau van de bron (dat sterk afhankelijk is van de diameter en lengte van de paal en dus ook van het type fundering), de waterdiepte en kenmerken van de bodem ter plaatse (bepalend voor de propagatie van het geluid), de kracht van de heislagen, de duur van de heiactiviteiten en de periode waarin deze activiteiten plaatsvinden. Verstoring kan Bruinvissen en andere zeezoogdieren verdrijven uit gebieden die het meest geschikt zijn voor hun voedselvoorziening. Gezien de seizoenaal hoge dichtheid aan Bruinvissen in Belgische wateren, en de afstanden waarop verstoring kan optreden, kunnen gedragveranderingen verwacht worden voor honderden tot duizenden dieren. Niettegenstaande de heiactiviteiten van relatief korte duur zijn, is het project waarbij gebruik gemaakt wordt van monopiles of jacket funderingen enkel aanvaardbaar mits toepassing van een aantal mitigerende maatregelen en een monitoringsprogramma, om de kans op gehoorschade en andere significant negatieve effecten bij zeezoogdieren zo minimaal mogelijk te houden. In tegenstelling tot monopiles en jacket funderingen worden bij gravitaire funderingen geen palen geheid, waardoor er geen 'impulsieve' geluiden van een hoog geluidsniveau geproduceerd worden. Ook indien de suction bucket techniek wordt gebruikt, zal het geluidsniveau beduidend lager liggen.

Operationele fase

Tijdens de operationele fase kunnen er zich effecten op zeezoogdieren voordoen tengevolge van trillingen en geluiden van de windturbines, habitatverlies als gevolg van de fysische aanwezigheid van een windmolenpark, verstoring door onderhoudswerken en veranderingen in beschikbare voedselbronnen.

Zeezoogdieren bezitten een geavanceerd sonarsysteem dat hun toelaat te navigeren en te jagen zonder gebruik te maken van andere zintuigen (echolocatie). Deze echolocatie zou verstoord kunnen worden door het geluid afkomstig van de operationele windturbines (Bach *et al.*, 2000). Het geluid van operationele windturbines kan hoorbaar zijn voor Bruinvissen tot op een afstand van ongeveer 50 m (Henriksen *et al.*, 2003), voor zeehonden tot een afstand van 1 km (Dolman *et al.*, 2003). Het valt echter niet te verwachten dat de effecten merkbaar zullen zijn over een grote afstand en dat ze, gezien hun continue niveau, een verstorend effect zullen hebben voor zeezoogdieren in de onmiddellijke omgeving van het park (Tougaard *et al.*, 2008).

De fysische aanwezigheid van het windmolenpark heeft waarschijnlijk vrijwel geen effect op zeezoogdieren. Er zal vermoedelijk gewenning optreden.

Tijdens de operationele fase kan er eventueel een toename optreden van zeezoogdieren in het park of in de omgeving van het park, door het wegvallen van visserij in het gebied, door het beschikbaar zijn van meer voedsel, en door het beschikbaar komen van andere voedselbronnen door de aanwezigheid van harde substraten. Dit effect zal het grootst zijn bij gravitaire funderingen door de grote oppervlakte van erosiebescherming.

Ontmantelingsfase

Er wordt verwacht dat de effecten tijdens de ontmantelingsfase in een worst case scenario van dezelfde aard zullen zijn als deze tijdens de constructiefase en dat er bijgevolg een

verstoring van de zeezoogdieren zal optreden. Doordat er tijdens de ontmantelingsfase echter niet geheid en gebaggerd zal worden, en de harde substraten normaliter worden achtergelaten, zal die verstoring een minder negatief effect hebben dan in de constructiefase. De ontmanteling wordt als gering negatief ingeschat voor zeezoogdieren.

Bekabeling

Het aanleggen van de kabels in de constructiefase kan een verstoringseffect hebben op zeezoogdieren. Dit effect is echter tijdelijk, beperkt in omvang en wordt daarom als gering negatief beschouwd. Na het leggen van de kabel zal de omgeving zich herstellen. De kennis over de impact van elektromagnetische velden op zeezoogdieren is tot op heden beperkt. De kans is echter gering dat zeezoogdieren zullen blootgesteld worden aan deze elektromagnetische velden.

0.3.4.2.5 Harde substraten

Constructiefase

De introductie van hard substraat, het zogenaamde reef-effect, in zeegebieden die bijna uitsluitend bestaan uit zandige sedimenten kan beschouwd wordt als het belangrijkste effect van de bouw van het windmolenpark (Dong energy *et al.*, 2006). Het zal leiden tot een verhoging van de habitat heterogeniteit, en het ontstaan van een nieuwe gemeenschap typisch voor harde substraten. Het totale oppervlak hard substraat dat potentieel beschikbaar wordt voor kolonisatie is afhankelijk van het aantal funderingen (turbines), het funderingstype, de dimensies van de fundering (diameter, subtidaal en intertidaal gedeelte) en de karakteristieken van de erosiebescherming (dimensies, ligging ten opzichte van de zeebodem).

Voor de verschillende configuratiealternatieven zal de totale oppervlakte hard substraat variëren tussen ca. 69.500 m² (basisconf., MP) en 277.000 m² (conf. 1, GBF). De keuze voor gravitaire funderingen zorgt voor een toename aan potentieel nieuw te koloniseren gebied, te wijten aan de grotere dimensies voor erosiebescherming.

Uit de monitoringsresultaten van C-Power (Kerckhof *et al.*, 2009; 2010; 2011; 2012) blijkt dat dit kolonisatieproces snel en intens verloopt. Bovendien wordt een hoge diversiteit vastgesteld in vergelijking met andere kunstmatige substraten in de omgeving. Hoogstwaarschijnlijk zal een mosselzone ontstaan en zullen ook kokerwormen en oesters zich vestigen. Langetermijnstudies tonen aan dat het zeker 5-6 jaar kan duren vooraleer een stabiele gemeenschap gevestigd is die gedomineerd wordt door filtervoeders (o.a. mossels) en permanente bruin- en roodwieren (Jensen *et al.*, 2000; Leonhard & Pedersen, 2005).

Naargelang de invalshoek kan dit effect zowel positief (o.a. verhoogde biomassa en diversiteit, aantrekking voor vissen) als negatief (o.a. verstoring natuurlijk habitat, aantrekking niet-inheemse soorten) beoordeeld worden. De grootte van de impact, ongeacht of het nu positief of negatief geëvalueerd wordt, is momenteel moeilijk in te schatten voor de offshore windmolenparken op de Noordzee. De totale oppervlakte hard substraat is sterk afhankelijk van het funderingstype (al of niet voorkomen van erosiebescherming), de complexiteit van de fundering en het aantal turbines. Het is duidelijk dat de oppervlakte geïntroduceerd hard substraat veel omvangrijker zal zijn in geval van een gravitaire fundering dan bij een monopile, én in het geval gekozen wordt voor configuratie 1 (groter aantal turbines). Hoewel voor jacket funderingen een erosiebescherming niet nodig is, zouden ze door de complexere structuur eveneens veel organismen kunnen aantrekken. Het aandeel dat effectief beschikbaar is voor kolonisatie door organismen is – ongeacht het funderingstype- echter beperkt daar zowel de

funderingen als erosiebescherming gedeeltelijk of volledig ingegraven liggen in de zeebodem en dus volledig bedekt zullen worden door het aanwezige zandige biotoop. Er kan dus verwacht worden dat ondanks de wijziging ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, het effect als aanvaardbaar (0/- of 0/+) kan worden beschouwd gezien het beschikbare oppervlak voor de ontwikkeling van een nieuwe gemeenschap relatief gering is ten opzichte van het BDNZ (≤ 0,01%).

Operationele fase

Tijdens de operationele fase zullen de mogelijke effecten van harde substraten beperkt blijven tot veranderingen in de hydro-fysico-chemische toestand van het projectgebied en mogelijke geluidsverstoring van de draaiende turbines, zoals besproken voor het benthos.

Ontmantelingsfase

Het ontmantelen van het windmolenpark zou er toe leiden dat de harde substraten nagenoeg volledig verdwijnen. De vraag kan gesteld worden of dit als positief of negatief moet geëvalueerd worden daar enerzijds wel de oorspronkelijke staat van zandige substraten verkregen wordt, maar dit anderzijds wel leidt tot een verlies aan biodiversiteit en andere mogelijke functies die het artificieel rif tijdens de exploitatie heeft uitgevoerd (bv. kraamkamer, stepping-stone, aantrekking voor bepaalde organismen). Het effect kan hier echter nog niet van worden ingeschat aangezien momenteel slechts initiële resultaten beschikbaar zijn over het effect van de introductie van harde substraten in een overwegend zandig milieu.

Bekabeling

De belangrijkste effecten tengevolge van de bekabeling voor het epibenthos en de demersale visfauna van harde substraten zijn biotoopverstoring, verhoogde turbiditeit, het ontstaan van elektromagnetische velden en de mogelijke opwarming. Deze zullen analoog zijn als diegene besproken voor het benthos en de vissen.

0.3.4.3 Milderende maatregelen

0.3.4.3.1 Benthos

Voor de plaatsing van de funderingen en de aanleg van de kabels dient de best beschikbare technologie te worden gebruikt zodat de zeebodem zo minimaal mogelijk wordt verstoord. De bouwmaterialen en steenbestortingen dienen zoveel mogelijk uit natuurlijke materialen vervaardigd te zijn en zullen geen afvalstoffen of secundaire grondstoffen bevatten. Het opvullen van de funderingsputten en het terugstorten van het uitgebaggerd zand voor de kabels moet zoveel en zo efficiënt (minimale verliezen) mogelijk gebeuren met zand van dezelfde kwaliteit als het oorspronkelijke zand. Na uitvoering van de bouwwerken is een herstel van de site gewenst.

Om het effect minimaal te houden moet bij het leggen van de kabel gestreefd worden naar bundeling van de kabeltracés van de verschillende windmolenparken. De voorkeur gaat hierbij uit naar aansluiting op het Alpha platform van Elia. Indien toch exportkabels naar land worden getrokken, heeft SeaStar de intentie om het kabeltracé van bestaande offshore windturbine parken zo goed mogelijk te volgen indien dit geen technische problemen geeft of gevolgen heeft op vlak van veiligheid (bvb. plaatsgebrek).

0.3.4.3.2 Vissen

De milderende maatregelen en compensaties besproken voor het benthos blijven ook hier geldig. Onzekerheid bestaat over het belang van het projectgebied als paai- en kraamgebied. Indien dit het geval zou zijn, dan moet een afstemming gebeuren om de meest verstorende bouwwerken indien mogelijk buiten de kwetsbare periodes te laten gebeuren.

0.3.4.3.3 Vogels

In de beoordeling van de effecten werden de volgende belangrijke effecten beschreven: het barrière-effect, het aanvaringaspect en het habitatverlies. Voor deze effecten worden milderende maatregelen voorgesteld die ook in de vorige MERs (MER Norther, MER Northwind, MER Belwind, MER C-Power en MER Rentel) opgenomen werden: een vogelvriendelijke configuratie, het gebruik van geluidssignalen of visuele signalen en het stilzetten van de turbines in periodes met een verhoogd aantal vliegbewegingen (bijvoorbeeld trekperiode) of onder slechte zichtomstandigheden. Ook wat betreft het uitvoeren van werkzaamheden kunnen deze best buiten de periodes met hoge concentraties van vogels of verhoogde kansen op de aanwezigheid van zeezoogdieren worden uitgevoerd (Stienen *et al.*, 2002).

0.3.4.3.4 Zeezoogdieren

Niettegenstaande de heiactiviteiten van relatief korte duur zijn, is het project waarbij gebruik gemaakt wordt van monopiles of jacket funderingen enkel aanvaardbaar mits toepassing van een aantal milderende maatregelen en een monitoringsprogramma. Het gebruik van een akoestisch afschrikmiddel en het toepassen van een ‘ramp-up’ procedure, waarbij de eerste heislagen met een minimale kracht worden gegeven en de kracht langzaam wordt opgebouwd, zijn mogelijke maatregelen. De doeltreffendheid van veel van de mogelijke mitigerende maatregelen wordt echter sterk in vraag gesteld (Boon *et al.*, 2010). Onderzoek naar deze doeltreffendheid is daarom aangewezen.

0.3.4.3.5 Harde substraten

Analoog als voor de milderende maatregelen voor het benthos wordt de klemtoon gelegd op degelijke monitoring strategieën en bijkomend wetenschappelijk onderzoek.

0.3.5 Zeezicht en cultureel erfgoed

0.3.5.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

De Noordzee lijkt een tot aan de horizon uitgestrekt uniform wateroppervlak en is één van de weinige gave landschappen die in België aan te treffen zijn, met een groot ecologisch belang. De vrije horizon, als uniek landschap, is een belangrijke natuurlijke waarde van de Noordzee. Het zicht over zee is op de meeste plaatsen vanaf de Belgische kustlijn ongestoord. Het zeezicht is zonder twijfel een belangrijk aantrekkingselement voor het toerisme aan de Belgische kust. Bij goede zichtbaarheid kan tot ver in zee de scheepvaart gevolgd worden. In de nabijheid van havens is er meestal meer activiteit door o.a. in- en uitvarende containerschepen, baggerschepen, vissersschepen en recreatievaart. Bij waarneming vanaf de kustzone landinwaarts is het dominante beeld van de Belgische kust dat van een smalle, strakke opeenvolging van hoogbouw in een strook van 67 km lang, die zee en polders hard scheidt.

Op zee bestaat het cultureel erfgoed voornamelijk uit scheepswrakken. Op basis van de bestaande databanken rond scheepswrakken en de inventarisatie van de scheepswrakken die uitgevoerd werd in het kader van het project GAUFRE (Maes *et al.*, 2005), kan er afgeleid worden dat er ter hoogte van het concessiegebied van SeaStar geen wrakken gelegen zijn. Langsheen het tracé van de exportkabel zijn wel verscheidene wrakken gelegen. Naast scheepswrakken groeit er een interesse naar verdronken paleolandschappen als nieuw onderdeel van cultureel erfgoed. Zo zouden er (herwerkte) resten van de middeleeuwse eilanden Wulpen, Koezand en Waterdunen liggen ter hoogte van het huidige Vlakte van de Raan (Pieters *et al.*, 2010, Mathys, 2009).

Op land bestaat het cultureel erfgoed uit landschappen en relicten van traditionele landschappen. Het betreft o.a. duin- en poldergebieden, de IJzermonding en het Zwin met zijn uitzonderlijke landschapsecologische waarde als slikke- en schorregebied.

Wat de autonome ontwikkeling betreft, zal de (verdere) bouw van de momenteel vergunde windmolenparken (C-Power, Belwind, Northwind, Norther en Rentel) het zeezicht verder wijzigen. De impact van deze windmolenparken op het zeezicht vanaf de kust is voornamelijk afhankelijk van de afstand van het windmolenpark tot de kustlijn. Naast de bouw van de windmolenparken zou het zeezicht mogelijks gewijzigd kunnen worden door de ontwikkelingen in de scheepvaartsector. De groei van de havens en de vraag naar grotere schepen zou het bestaande beeld kunnen wijzigen. Wat betreft de autonome ontwikkeling van het cultureel erfgoed kan gesteld worden dat er momenteel op land geen ontwikkelingen gepland zijn die het cultureel erfgoed zouden kunnen wijzigen.

0.3.5.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.5.2.1 Constructiefase

Gezien het windmolenpark op een grote afstand in zee wordt gebouwd, zullen de constructieactiviteiten nauwelijks zichtbaar zijn. Het effect van de bouwactiviteiten op de beleving van het zeezicht door toeristen en bewoners, zal zeer gering tot verwaarloosbaar zijn. Daarnaast dient gesteld te worden dat op het moment van de realisatie van het SeaStar windmolenpark er reeds andere windturbines op zones dichter bij de kust zullen gerealiseerd zijn, die de visuele impact van de turbines in de verder gelegen zones nog meer beperken.

De voorbereidende activiteiten op het land (zoals onder andere de premontage van turbines en andere onderdelen van het windmolenpark) in een nabijgelegen haven, hebben lokaal wel een tijdelijke visuele impact; de aanwezigheid van het materiaal en de bewerkingen kunnen tijdelijk als een toeristische activiteit worden beschouwd. De negatieve beleving van de rustverstoring voor bewoners staat naast de positieve beleving voor toeristen. In zijn geheel is deze activiteit visueel als neutraal te beschouwen vanwege het tijdelijke karakter en de potentiële positieve effecten.

0.3.5.2.2 Operationele fase

Aangezien het SeaStar park zich achter andere windmolenparken zal bevinden, zal het zicht vanaf de kust met of zonder de SeaStar turbines niet wezenlijk veranderen.

Uit een recent enquêteonderzoek (Grontmij, 2010) blijkt dat slechts 6 op 1.000 respondenten de windmolens aan de haven van Zeebrugge als storend ervaren (5%) en de windmolens op zee slechts door 3 mensen (2,5%). Bij het bekijken van een foto waarin een simulatie te zien was van het zicht op 3 toekomstige windmolenparken (C-Power, Northwind en Belwind) vanop

het strand in Blankenberghe, beoordeelde bijna 78% van de respondenten dit zicht als (zeer) aanvaardbaar (Grontmij, 2010). Een doordachte keuze van de lay-out van de windturbines en het patroon en de oriëntatie van het windmolenpark zijn factoren die de beleving en aanvaardbaarheid van windmolenparken op zee positief kunnen beïnvloeden. Het vooraf informeren van het grote publiek kan positief bijdragen tot de aanvaardbaarheid van een project en wordt als meerwaarde gezien.

Voor bebakening en verlichting wordt er steeds gewerkt volgens de IALA en ICAO Richtlijnen en volgens mogelijke bijkomende richtlijnen van de bevoegde instanties.

De exploitatie van het windmolenpark zal waarschijnlijk geen directe of indirecte effecten hebben op het (maritiem) cultureel erfgoed. De exacte locatie van fossiele zoogdierresten rondom de Thornton en Lodewijkbank vormt echter een leemte in de kennis. Het effect van de bouw van windmolenpark SeaStar op archeologische resten kan niet bepaald worden.

0.3.5.2.3 Ontmantelingsfase

De effecten op het zeezicht en het cultureel erfgoed zullen tijdens de ontmantelingsfase gelijkaardig zijn als tijdens de bouwfase.

0.3.5.2.4 Bekabeling

De aanleg van de exportkabel van het windmolenpark naar de kust kan een impact hebben op het maritiem cultureel erfgoed, gezien er langsheen het voorgesteld kabeltracé meerdere (gekende) scheepswrakken aanwezig zijn. Vanuit het standpunt van het maritiem archeologisch erfgoed gaat geen voorkeur uit naar een bepaald tracé aangezien er langsheen beide tracés wrakken gesitueerd zijn. Wanneer het ontwijken van scheepswrakken maximaal nagestreefd wordt, wordt het effect op het maritiem cultureel erfgoed tot een minimum beperkt.

0.3.5.3 Milderende maatregelen

Het vooraf informeren van het grote publiek kan positief bijdragen tot de aanvaardbaarheid van de beïnvloeding van het zeezicht door het geplande windmolenpark.

Om beschadiging van scheepswrakken te voorkomen, is het aangewezen om vóór de constructie van het windmolenpark en de aanleg van de exportkabel(s) een side-scan sonar survey (of een gelijkwaardig onderzoek) uit te voeren, of ten minste gebruik te maken van reeds beschikbare relevante gegevens van surveys uitgevoerd voor de aanleg van andere exportkabels.

0.3.6 Interactie met andere menselijke activiteiten

0.3.6.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

In de Belgische mariene gebieden omvatten de menselijke activiteiten vooral economische activiteiten. Verschillende van deze activiteiten maken gebruik van speciale zones die hiervoor zijn afgebakend of bepaald, zoals visserij, maricultuur, scheepvaart, zand- en grindontginning, baggeren en storten van baggerspecie, windenergie, militair gebruik, gaspijpleidingen en telecommunicatiekabels, toerisme en recreatie, en wetenschappelijk onderzoek.

Het concessiegebied situeert zich volledig binnen de zone voor de bouw en exploitaties van installaties voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (KB 17/05/2004,

gewijzigd bij KB 03/02/2011). Eveneens is bepaald dat deze activiteit voorrang geniet op de andere activiteiten die zouden kunnen plaatsvinden in het gebied. De drie alternatieve kabeltracés met aanlanding te Zeebrugge kruisen de Speciale Beschermingszone te Zeebrugge (SBZ-V3) en de scheepvaartroute 'Het Scheur'.

In deze niet-technische samenvatting zullen enkel de activiteiten worden besproken die effectief in het concessiegebied plaatsvinden. Gezien er geen potentiële interacties zijn met andere activiteiten in de nabije omgeving of verder op het BDNZ, zijn deze activiteiten hier niet verder opgenomen. In het desbetreffende hoofdstuk wordt er wel dieper op ingegaan.

0.3.6.1.1 Visserij

De belangrijkste aangevoerde soorten zijn garnalen en demersale vissoorten met daarin vooral Tong, Rog en Schol (Tessens & Velghe, 2012; Vanderperren & Polet, 2009). De vangst van Kabeljauw, Schar en Wijting is minder belangrijk. De intensiteit van de visserij richt zich meer op de geulen tussen de zandbanken dan op de zandbanken zelf. Garnaalvisserij aan de ander kant zal zich dan weer eerder op de zandbanken oriënteren. Deze vindt voornamelijk plaats dichter bij de kust.

In 2011 bestond de Belgische zeevisserijvloot uit 86 vissersvaartuigen. Socio-economisch gezien is het BDNZ voor de Belgische zeevisserij eerder van gering belang. Bijna 65% van de Belgische visaanvoer is afkomstig uit de centrale en zuidelijke Noordzee. Zowel op internationale als nationale schaal heeft de visserijsector echter te kampen met socio-economische problemen door enerzijds een stelselmatige afname van de bestaande biomassa in de hogere trofische niveaus van het Noord-Atlantische gebied sinds 1950, en anderzijds een stijgende visintensiteit tussen 1950-1975. Onderzoekers zijn tot de conclusie gekomen dat de huidige visexploitatie niet kan aanhouden en dat het hoger trofische niveau van vissen binnen enkele decennia volledig verdwenen zal zijn in het Noord-Atlantische gebied (Dickey *et al.*, 2010). Dit komt ook naar voren uit het feit dat het bestand van bijna alle soorten gerangschikt wordt als 'buiten de veilige biologische grenzen'.

Deze trend loopt grotendeels parallel met de Belgische visserij. Een verhoogde aanvoer werd alleen waargenomen tussen 1950 en 1955, waarna een stelselmatige daling in de aanvoer en vlootomvang werd opgetekend. Sinds begin de jaren '90 daalt de totale aanvoer door Belgische vissersvaartuigen nagenoeg onafgebroken en bedraagt nu nog ongeveer de helft van 20 jaar geleden.

0.3.6.1.2 Kabels en pijpleidingen

Het concessiegebied wordt enkel doorkruist door de inactieve telecommunicatiekabel Rioja. De voorgeschreven veiligheidsafstand bedraagt normaliter 250 m, maar aangezien Rioja niet langer in gebruik is, zal een veiligheidsafstand van 50 m gehanteerd worden voor de verschillende inplantingsconfiguraties van de turbines. Geen enkele gaspijpleiding bevindt zich in het SeaStar concessiegebied.

De twee voorgestelde alternatieven voor de exportkabel (naar Alpha of naar de Zeebrugge) zullen verscheidene telecommunicatiekabels en gasleidingen kruisen.

0.3.6.1.3 Zand- en grindontginning

Sinds 2004 zijn de concessiezones voor aggregaatextractie gewijzigd volgens het KB 01/09/2004 en het MB 24/12/2010. Er zijn nu vier 'controlezones'.

Het kabeltracé naar de kust volgt de westelijke rand van het Belgisch concessiegebied. Op die locatie is er echter een kleine overlap tussen het Belgisch concessiegebied en de concessiezone 1A voor zand- en grindwinning. Deze concessiezone wordt echter weinig gebruikt en bestaat voor een groot deel uit monitoringsgebied waar geen extractie plaatsvindt.

In de nabije toekomst zullen de hoeveelheden zand die ontgonnen worden significant toenemen onder meer voor de realisatie van het Masterplan Kustveiligheid dat o.a. het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (GKVP), het OW-plan Oostende en het Zwinproject omvat.

0.3.6.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

0.3.6.2.1 Visserij

Het potentieel verlies van toegang tot de traditionele visgronden wordt in het algemeen ervaren als het belangrijkste negatieve effect van de ontwikkeling van windturbine projecten op zee (Mackinson *et al.*, 2006). Het verlies aan visgronden kan leiden tot inkomstenverlies en werkloosheid. Wegens gebrek aan specifieke financiële data werd reeds aangehaald dat een gedetailleerde economische analyse moeilijk haalbaar is. Het SeaStar windmolenpark zal zorgen voor een bijkomend maximaal verlies aan visgronden (ca. 0,6% van het BDNZ). Gezien de beperkte oppervlakte (20,3 km²) en het gegeven dat het projectgebied van beperkt belang is voor de visserij, kan dit directe verlies als verwaarloosbaar worden geschat. De impact voor de visserij ten gevolge van het beschreven windmolenpark is dus gering negatief en is bovendien veel minder relevant dan het inkomstenverlies ten gevolge van schommelende brandstofprijzen en de beperkingen opgelegd door het Europese visserijbeleid.

Wanneer de volledige concessiezone voor windmolenparken in gebruik is (240 km²), komt dit neer op ca. 7% van het BDNZ dat wordt afgesloten voor de visserij. Ondanks het groter verlies in vergelijking met het SeaStar windmolenpark alleen, kan analoog aan de voorgaande redenering dit directe verlies nog steeds als gering negatief worden geschat. Het kleine vlootsegment leeft voornamelijk van de vangst binnen de 12-mijlszone, en het concessiegebied overlapt deze zone maar voor een klein gedeelte.

Naast het ruimtelijke verlies maken de vissers zich zorgen over de korte- en langetermijneffecten tijdens de constructie en de operationele fase. Tijdens de constructiefase wordt het heien van de palen (bij keuze monopile/ jacket fundering) als belangrijkste oorzaak gezien voor veranderingen in het visgedrag, terwijl het plaatsen van funderingen (bij keuze gravitaire fundering) en het leggen van kabels voor sedimentverstoring zal zorgen. De belangrijkste effecten in de operationele fase zijn de veranderingen in het visgedrag ten gevolge van de introductie van harde substraten.

Naast deze negatieve effecten op visserij, biedt de ontwikkeling van het windmolenpark ook opportuniteiten, namelijk het ontstaan van kraamkamergebieden en beschermde natuurzones. Daarnaast zal het afsluiten van een gebied voor de visserij onvermijdelijk leiden tot het uitblijven van de verstorende invloed van de boomkor die de bodem omwoelt en de organismen wegvangt (Dayton *et al.*, 2002; Lindeboom 2002).

Tenslotte is er het positieve effect van een afgesloten gebied op de visoogst in de omgeving. Wetenschappelijk onderzoek (Roberts *et al.*, 2001) toonde aan dat ook kleine (10-25 km²) mariene reservaten een significant positieve invloed hebben op de visserij in de omgeving. Deze invloed kan leiden tot een grote stijging (46-90%) in de vangsten in de omringende gebieden binnen een betrekkelijk korte periode van vijf jaar. Hoewel de toepasselijkheid van

deze gegevens in het bijzondere geval van het BDNZ nog bewezen moet worden, bestaat er een aanzienlijke consensus binnen de wetenschappelijke wereld over het 'spillover effect' van mariene beschermingsgebieden, dat in een netwerk van mariene reservaten nog intenser is.

0.3.6.2.2 Kabels en pijpleidingen

Gezien in het concessiegebied de vereiste (gereduceerde) veiligheidszone ten opzichte van de telecommunicatiekabel Rioja gerespecteerd wordt, mag aangenomen worden dat er zich geen effecten zullen voordoen op de bestaande kabels- en pijpleidingen ten gevolge van het inplanten en exploiteren van het windmolenpark.

De exportkabel zal afhankelijk van het gekozen alternatief een kruising dienen te maken met telecommunicatiekabels, de Interconnector en exportkabels van reeds gerealiseerde parken. Er wordt evenwel voorzien dat de nodige maatregelen worden getroffen om beschadiging aan de kabels of de pijplijnen te voorkomen.

0.3.6.2.3 Zand- en grindontginning

Het SeaStar concessiegebied ligt op voldoende afstand van de controlezones. De voorgestelde west-route voor de exportkabel aan de rand van de Belgische concessiezone ligt echter ook in de rand van controlezone 1A. Daar vindt echter weinig extractie plaats en is voornamelijk voorzien als referentiegebied voor windmolen activiteiten. Bijgevolg worden er geen conflicten verwacht en kan het effect van het windmolenpark op de zand- en grindontginning als onbestaande beschouwd worden.

0.3.6.3 Milderende maatregelen

Er worden geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld bij de ontwikkeling van het SeaStar windmolenpark inzake andere gebruikers.

0.3.7 Risico's en veiligheid

De beschrijving van de referentiesituatie en de effectenbespreking voor scheepvaart, olievervuiling, radar en scheepscommunicatie wordt besproken onder het onderdeel 'cumulatieve effecten' (§ 0.4.9) van de niet-technische samenvatting.

In dit hoofdstuk zullen enkel de veiligheidsapecten van de installaties besproken worden

0.3.7.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

In dit onderdeel worden de veiligheidsrisico's van de installaties op zich en de eventuele gevolgen van een incident kort besproken. Inschatting van de veiligheidsrisico's verbonden aan de infrastructuur van het windmolenpark zelf zijn gebaseerd op literatuurgegevens. De beschreven risico's zijn geldig voor alle configuratiealternatieven. Arbeidsrisico's worden in dit MER niet behandeld.

Momenteel zijn er nog geen installaties aanwezig ter hoogte van het SeaStar concessiegebied.

0.3.7.2 Beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

Windturbines worden tegenwoordig onderworpen aan verschillende classificatiesystemen. Dit geldt ook voor de windturbines van voorliggend project. Teneinde tot een bepaalde klasse te

behoren worden de turbines in hun geheel en op onderdelen gekeurd (bladen, gondel, elektrische installatie, mast, fundering…). De windturbines beschikken over een typecertificering conform IEC 61400 of gelijkwaardig.

Uit de verwachtingswaarde aanbevolen door SGS blijkt dat de faalfrequentie het hoogst is voor kleine onderdelen uit de gondel, namelijk 0,0012 per jaar, of omgerekend eens om de 833 jaar. Voor de andere onderdelen is de faalkans nog lager. Dit risico is aldus zeer laag en de effecten van faling van de installaties zijn aanvaardbaar.

Inzake veiligheid is het van belang om na te gaan in welke mate objecten en activiteiten die zich in de nabijheid van turbines bevinden, kunnen geraakt worden door bv. een afbrekend rotorblad. De maximale werpafstand tijdens een overtoeren-situatie voor een 3 MW windturbine blijkt ca. 440 m te zijn. Gezien de eerder beperkte (niet-lineaire) stijging in maximale werpafstand tussen resp. 1 MW, 2 MW en 3 MW, wordt verwacht dat de vandaag gehanteerde veiligheidsafstand (cf. KB van 11/04/2012) van 500 m rondom het windmolenpark voldoende zal zijn voor de volledige range van 4 MW tot 10 MW windturbines..

Voorzieningen ter bescherming van het milieu behoren tot de standaarduitrusting van de windturbines en het OHVS. Het lekken van vloeistoffen (olie, vetten, etc.) uit de installaties wordt vermeden of beperkt door de aanwezigheid van diverse opvangsystemen (lekbakken, randen, inkuipingen) alsook door de constructiewijze van de onderdelen van de installaties. Dit is niet het geval indien een windturbine zou omvallen ten gevolge van extreme klimaatcondities of tengevolge van een aanvaring of een aandrijving door schepen. In dat geval zullen, wanneer tanks of leidingen bij het ongeval breken of scheuren, de vetten en oliën aanwezig in de turbine kunnen vrijkomen en zich in het milieu kunnen verspreiden. Gezien de bestaande classificatie en certificeringsystemen is de kans dat een turbine uit zichzelf omvalt gedurende de levensduur van het project niet onbestaande maar zeer klein. De hoeveelheid aanwezige oliën in de turbine bedragen ca. 1.000 liter per turbine (tandwielkast, hydraulisch systeem). Voor een beschrijving van de risico's en effecten door aanvaring/aandrijving van windturbines door schepen wordt verwezen naar het onderdeel 'cumulatieve effecten' (§ 0.4.9) van de niet-technische samenvatting.

Een ander risico voor het milieu is brand. Brand in een turbine of op een offshore hoogspanningsstation kan aanleiding geven tot het vrijstellen van toxische of milieuschadelijke stoffen.

0.3.7.3 Milderende maatregelen

Daar waar bij lekkages significante hoeveelheden olie of vet in zee terecht kunnen komen, kunnen adequate sensoren op geschikte locaties of regelmatige inspecties worden voorzien waarmee lekkages snel worden gedetecteerd.

Wanneer als gevolg van een defect of ongeval stoffen of materialen in zee terecht komen die een bedreiging zijn voor het milieu, moet getracht worden deze stoffen of materialen zo spoedig mogelijk uit het milieu te verwijderen en te verwerken of storten volgens de geldende reglementering.

0.4 CUMULATIEVE EFFECTEN

0.4.1 Inleiding

De mogelijke effecten van een combinatie van meerdere windmolenparken, kunnen in samenhang met andere menselijke activiteiten op zee leiden tot een cumulatie van effecten. Hierbij kan het gaan om een relatief simpele optelsom van alle effecten van de afzonderlijke activiteiten, maar het zou ook zo kunnen zijn dat bepaalde effecten elkaar versterken, of juist geheel of gedeeltelijk opheffen. Tenslotte kan het zo zijn dat afzonderlijke effecten weliswaar bij elkaar moeten worden opgeteld, maar dat dit niet leidt tot significante problemen voor het leven in en op zee en de betrokken habitats, tot dat een vooralsnog onbekende drempelwaarde wordt overschreden, waarna plotseling wel significante problemen ontstaan. In dit laatste geval is er sprake van een niet-lineaire respons.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijke cumulatieve effecten ten gevolge van de vijf momenteel vergunde windmolenparken in het Belgische Deel van de Noordzee (Northwind + Belwind + C-Power + Norther + Rentel) in combinatie met het SeaStar windmolenpark.

C-Power NV heeft de nodige vergunningen om ter hoogte van de Thorntonbank een windmolenpark te bouwen en het gedurende 20 jaar uit te baten. In 2008 werden de eerste zes turbines geplaatst van 5 MW (gravitaire funderingen).. In de periode 2012-2013 werden 48 turbines (6,15 MW, jacket funderingen) geplaatst. Eind 2013 zal het volledige park operationeel zijn In totaal wordt een oppervlakte van 19,9 km² ingenomen voor een maximum geïnstalleerd vermogen van 325 MW.

Belwind heeft de nodige vergunningen verkregen voor een grootschalig windturbine project (363 MW) op de Blighbank. Een domeinconcessie werd verkregen voor een oppervlakte van 35,4 km². Het windmolenpark zal bestaan uit 110 turbines van 3 MW, waarvan momenteel reeds 55 turbines (met monopile funderingen) operationeel zijn. De overige 55 turbines zullen vermoedelijk eveneens geplaatst worden met monopile funderingen.

Northwind heeft een domeinconcessie verkregen voor de bouw en de exploitatie van een windmolenpark van 72 monopile turbines (totale oppervlakte: 14,30 km²) op de Lodewijkbank gelegen op ca. 38 km van de Belgische kust, met een gezamenlijk geïnstalleerd vermogen van 216 MW; het individueel vermogen van de windturbines zal 3 MW bedragen. Tijdens het voorjaar 2013 is men van start gegaan met de constructiefase en in het najaar 2013 zal het park hoogstwaarschijnlijk operationeel zijn.

Norther heeft op 18 januari 2012 een milieuvergunning gekregen voor de bouw van windmolenpark ten zuidoosten van de Thorntonbank. Dit park van 44 km² zal zich het dichtste bij de Belgische kust bevinden, op ca. 21 km. De exacte configuratie is momenteel nog niet gekend maar het totaal geïnstalleerd vermogen zal 320 tot 420 MW bedragen, en het aantal turbines zal variëren tussen de 47 en 86.

Rentel NV heeft recentelijk een vergunning gekregen voor een project tussen de Thorntonbank en de Blighbank, op ca. 31 km van de kust. Dit park met een oppervlakte van 18,5 km² (met mogelijke uitbreiding tot 26,9 km²) biedt plaats voor 47 tot 78 turbines, met een totaal geïnstalleerd vermogen van 289 MW tot 550 MW.

Tenslotte heeft ook Mermaid een domeinconcessie verkregen voor de bouw en exploitatie van een windmolenpark, maar aangezien de vergunningsprocedure nog niet is aangevat, wordt dit park hier niet opgenomen.

Enkel deze effecten die een niet verwaarloosbare (positief of negatief) invloed hebben op een bepaalde discipline zullen worden besproken. Er wordt namelijk verondersteld dat indien een bepaald effect totaal verwaarloosbaar is voor het milieu voor elk windmolenpark afzonderlijk, ook het cumulatieve effect verwaarloosbaar zal zijn. Op deze regel kan een uitzondering gemaakt worden indien de effecten van afzonderlijke windmolenparken een bepaalde drempelwaarde dicht benaderen, waardoor het cumulatieve effect zich in een andere grootteklasse van effecten (matig tot significant) bevindt.

0.4.2 Bodem

Het cumulatieve effect is enkel niet verwaarloosbaar bij windmolenparken met gravitaire funderingen. In het meest waarschijnlijk scenario worden er in het Norther gebied enkel monopiles geplaatst en in het Rentel en SeaStar concessiegebied enkel jackets. In dit geval zal er voor de zes parken in het totaal ca. 1,25 miljoen m³ zand moeten gestockeerd worden. In een worst case scenario, dus indien gekozen wordt voor gravitaire funderingen voor zowel het Norther het Rentel als het SeaStar windmolenpark, zal in totaliteit ca. 12,6 miljoen m³ zand gestockeerd worden ten gevolge van de benodigde uitgraving. Voor de andere windmolenparken is uitgegaan van de huidige beslissingen rond het funderingstype: Belwind en Northwind (monopile); C-Power (combinatie gravitaire en jacket fundering). Deze stockage treedt gefaseerd in de tijd op: de bouw per park duurt 2 jaren, de bouwperiode per windmolenpark zal verschillen. Ter vergelijking, op het BDNZ is er de voorbije jaren ongeveer een jaarlijks volume van 2 miljoen m³ aan zand- en grindextractie voor commercieel gebruik geweest, verspreid over een aantal locaties alsook ongeveer 16 miljoen m³ gebaggerd en terug in zee gedumpt op de voorziene stortplaatsen. Het cumulatieve effect zal kleiner zijn dan de som van de individuele effecten.

De impact op de morfodynamiek van het BDNZ door de aanleg van de kabels is verwaarloosbaar. Een gezamenlijke installatie van kabels (dichtbij elkaar gelegen trajecten) betekent een geringere impact dan indien elk van de vier projecten verschillende trajecten hanteert. De lokale erosie door de constructies wordt voor alle windmolenparken tegen gegaan door het a priori aanleggen van een erosiebescherming (met uitzondering van jacket funderingen). Bij de keuze voor monopiles kan besloten worden dat de erosiebescherming in alle gevallen voldoende groot is. Bij de keuze voor gravitaire funderingen is er enige onzekerheid wegens gebrek aan wetenschappelijk onderzoek en praktijkervaring en nemen de initiatiefnemers daarom een nog grotere veiligheidsmarge bij de afmetingen van de erosiebescherming. Het cumulatieve effect is zeker kleiner dan de som van de individuele effecten. Indien er toch lokale erosie optreedt, kan dit effect vrij eenvoudig weggewerkt worden door herstellen en bijkomend storten van erosiebescherming.

Indien de erosiebescherming verwijderd wordt, zal er in essentie een put ontstaan ter hoogte van elke fundering. Het herstel van de funderingsputten is op basis van de huidige kennis niet in te schatten in ruimte en tijd. Het cumulatieve effect zal niet groter zijn dan de som van de individuele effecten.

0.4.3 Water

De constructie van de fundering zal een lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. Deze zal het grootst zijn voor het SeaStar configuratiealternatief 1 met 62 gravitaire funderingen. In vergelijking echter met de van nature optredende turbiditeitsconcentraties tijdens stormen, wordt dit ongeacht het cumulatief scenario als een aanvaardbaar effect beoordeeld. Het cumulatief effect zal de som zijn van de individuele effecten.

De impact op de turbiditeit wordt voor de aanleg van parkkabels en exportkabels als zeer tijdelijk en lokaal beoordeeld, zeker in vergelijking met deze impact tijdens de aanleg van funderingen (zie hoger). Het effect wordt eveneens als aanvaardbaar beoordeeld.

0.4.4 Klimaat en atmosfeer

Een belangrijk effect tijdens de operationele fase zijn de vermeden emissies op het land als gevolg van het feit dat de netto elektriciteitsproductie van de windmolenparken niet door middel van klassieke, al dan niet in combinatie met nucleaire, productie dient te worden opgewekt.

In februari 2013 werd het Derde Vlaams Klimaatsplan goedgekeurd. De vermeden emissies van de zes windmolenparken zullen hiervoor een belangrijke bijdrage leveren.

0.4.5 Geluid en trillingen

Het geluid van het heien van funderingspalen kan onder water tot op een relatief grote afstand propageren met slechts een geringe attenuatie. Maar gezien dat bij het heien een impulsgeluid (niet continue) wordt voortgebracht en de heiactiviteiten slechts tijdelijk voorkomen, zal het cumulatieve effect niet groter zijn dan de som van de effecten per windmolenpark. De kans dat de puls van het heien ter hoogte van verscheidene parken samen valt is namelijk zeer klein.

Bij het baggeren kan het onderwatergeluid tot op een relatief grote afstand (verder dan de windmolenparken) worden waargenomen met slechts een geringe geluidsdemping. Gezien het baggeren slechts tijdelijk voorkomt en enkel in het geval van de helft van de monopile en jacket fundering locaties, en bij de keuze van een gravitaire fundering, zal het cumulatieve effect niet groter zijn dan de som van de effecten per windmolenpark.

Tijdens de exploitatie blijft het onderwatergeluid van de windturbines beperkt tot het gebied tussen de turbines en overschrijdt de veiligheidsgrens van 500 m rond het windmolenpark niet; het cumulatieve effect is bijgevolg gelijk aan de som van de individuele effecten.

Bij de cumulatieve werking van de windmolenparken in een matig belastende situatie zal er boven water enkel in de zones tussen de windmolenparken een verhoogd geluidsniveau aanwezig zijn t.o.v. de individuele werkingstoestand van elk windmolenpark, het cumulatieve effect zal bijgevolg groter zijn dan de som van de effecten per windmolenpark.

0.4.6 Fauna, flora en biodiversiteit

Voor de meeste effecten op benthos en vissen (biotoopverlies/ verstoring, verlies organismen, introductie hard substraat, geluid en trillingen) geldt dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijk effecten per windmolenpark. Deze zijn bovendien vaak recht evenredig met het ruimtebeslag. De totale oppervlakte van de zes parken samen (inclusief veiligheidszones) blijft relatief klein t.o.v. het BDNZ. Gezien de meeste effecten zich slechts voordoen op een beperkt deel van de domeinconcessies (gravitaire > monopile/jacket) kan algemeen besloten worden dat de effecten aanvaardbaar zullen zijn. Er heerst nog een grote onzekerheid omtrent de grootte van het cumulatieve effect van geluidsverstoring onder water en elektromagnetische straling ten gevolge van de bekabeling. Verder onderzoek is aangewezen.

Met betrekking tot vogels kan verwacht worden dat de aanwezigheid van een groot aantal windmolenparken in een relatief kleine zone een licht verhoogde mortaliteit van zeevogels op populatieniveau tot gevolg kan hebben. Ook al vallen er waarschijnlijk relatief gezien weinig aanvaringsslachtoffers, dit kan op lange termijn toch een significant effect hebben op de populatie van bepaalde soorten (Drewitt & Langston, 2006). De aanwezigheid van de windmolenparken kan voor verstoringsgevoelige zeevogelsoorten bovendien een verlies van habitat betekenen. Dit is voornamelijk het geval tijdens de winterperiode, waarbij grote aantallen zeevogels zich op het BDNZ concentreren vooraleer ze naar hun broedgebieden trekken. De aanwezigheid van de parken kan tevens een vermindering van foerageergebied betekenen voor bepaalde verstoringsgevoelige vogelsoorten, of een barrière-effect teweeg brengen dat vooral van belang is ten aanzien van de migrerende vogels. Deze cumulatieve effecten kunnen echter op basis van de huidige gegevens niet eenduidig ingeschat worden. Bijkomend onderzoek is noodzakelijk.

Voor zeezoogdieren wordt verwacht dat de meeste cumulatieve effecten (verstoring, geluid, fysische aanwezigheid windmolenparken, wijziging in voedselbeschikbaarheid…) de som van de afzonderlijke effecten zullen zijn. Er zijn echter veel leemten in de kennis.

0.4.7 Zeezicht en cultureel erfgoed

De constructieactiviteiten van een windmolenpark kunnen een effect hebben op de beleving van toeristen, bewoners en vissers. De scheepvaart zal verhogen en ook de bouwwerkzaamheden op zee kunnen het zeezicht beïnvloeden. De bouwperiodes kunnen deels overlappen waardoor de verstoring zal verminderen in duur, maar wel een verhoogde intensiteit van verstoring met zich mee zal brengen. Langs de andere kant kunnen de werkzaamheden ook als een extra toeristische attractie gezien worden. Ongeacht dit gegeven, wordt het cumulatieve effect als gering negatief beoordeeld.

Vanaf de kust zullen enkel de turbines van C-Power en Norther zichtbaar zijn. Tijdens een enquête van Grontmij (2010) aangaande de aanvaardbaarheid van het gesimuleerde zicht van drie toen reeds vergunde parken (C-Power, Belwind en Northwind), beoordeelde 78% van de ondervraagden het zicht als aanvaardbaar. Wanneer ze een simulatie van een worst case scenario te zien kregen, waarbij het volledige concessiegebied met windturbines gevuld is, werd het zicht nog door 62% als aanvaardvaar beschouwd. Doordat de verscheidende parken in fases gebouwd worden, is het mogelijk dat een langzame gewenning zal optreden aan het wijzigend landschap. Het cumulatieve effect wordt dat ook als aanvaardbaar beschouwd.

Langsheen de tracés voor de exportkabels zijn enkele wrakken gesitueerd. Wanneer het ontwijken van scheepswrakken telkens maximaal nagestreefd wordt door het uitvoeren van een voorafgaande side-scan sonar survey (of een gelijkwaardig onderzoek) langsheen het traject, wordt het effect op het maritiem cultureel erfgoed tot een minimum beperkt. Het cumulatieve effect door het voorzien van de bekabeling van de windmolenparken op het maritiem archeologisch erfgoed wordt bovendien verder gereduceerd door de kabeltracés van de verschillende projecten zoveel mogelijk te bundelen vanuit het Alpha platform van Elia.

0.4.8 Interactie met menselijke activiteiten

Het invullen van de gehele concessiezone met windturbines beperkt een groter percentage aan vismogelijkheden in deze regio. Indien we uitgaan van de ruwe schatting dat 85% van het BDNZ kan bevist worden (Ecolas, 2003), zou dit neerkomen op een bijkomend verlies voor de traditionele visserij van ongeveer 7% tengevolge van de zes windmolenparken. Het SeaStar concessiegebied heeft hierin slechts een beperkt aandeel; vooral de zones dichter bij de kust en op de zandbanken zijn als visserijgebied interessanter en hebben in die zin een sterkere impact op de sector. Dekker *et al.* (2009) hebben berekend dat het afsluiten van windmolenparken (en ook mariene beschermde gebieden) slechts een minimaal effect zal hebben op de hoeveelheid te vangen vis en dus op de visserij. Maricultuur biedt eveneens mogelijkheden om de economische activiteit van de visserij deels te vervangen. Daarnaast kan de afsluiting van een groot aaneengesloten gebied er wel toe leiden dat de vaartijd van vissersschepen toeneemt.

Naast het ruimtelijke verlies spelen de cumulatieve korte en langetermijneffecten tijdens de constructie- en operationele fase op de vissen een rol voor de visserijsector. Mogelijke cumulatieve negatieve effecten worden veroorzaakt door het heien van de palen (monopile, jacket funderingen) en het ontstaan van elektromagnetische stralingen (kabels). Momenteel bestaat er nog veel onzekerheid rond de impact van deze effecten. Voorlopig wordt dit effect als matig negatief (heigeluid tijdens constructie) tot gering negatief (elektromagnetische straling) ingeschat, maar verder onderzoek is wenselijk. Mits gebruik van milderende maatregelen kunnen beide effecten als aanvaardbaar beoordeeld worden.

Daarnaast kan een afsluiting van het gebied voor visserij en scheepvaart een positief effect hebben op de vispopulaties. Ook de introductie van harde substraten kan resulteren in een toename van vis.

De uitgebreide monitoring in de concessiezone zal een positieve bijdrage leveren aan de wetenschappelijke kennis van het BDNZ. Ook de mogelijkheid tot gemeenschappelijk onderzoek tussen de offshore windindustrie en Belgische universiteiten en andere wetenschappelijke instellingen biedt nieuwe opportuniteiten. Het cumulatief effect op het wetenschappelijk onderzoek wordt dus als matig positief beoordeeld.

0.4.9 Risico's en veiligheid

Er wordt verwacht dat de belangrijkste cumulatieve effecten voor de discipline Risico's en veiligheid zullen optreden voor de deelaspecten 'Scheepvaart' en 'Radar en scheepscommunicatie'. Zodoende worden enkel deze aspecten verder besproken.

In de veiligheidsstudie van MARIN (2013) werden twee cumulatieve scenario's onderzocht. Scenario 1 omvat het SeaStar windmolenpark in combinatie met de reeds vergunde parken

Belwind, Northwind, Rentel, C-Power en Norther In scenario 2 worden de effecten van het SeaStar windmolenpark in combinatie met de vergunde windmolenparken uit scenario 1 en de *domeinconcessie* MERMAID onderzocht.

De bespreking en beoordeling van de effecten van operationele windmolenparken op radar en scheepscommunicatie werd opgemaakt in een deelstudie door Flemtek-IMDC (2013) (integraal bijgevoegd als externe bijlage bij dit MER). De belangrijkste resultaten in verband met het cumulatief effect van de windmolenparken op radar en scheepscommunciatie worden hieronder samengevat.

0.4.9.1 Scheepvaart

0.4.9.1.1 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

Het Belgische Deel van de Noordzee wordt gekenmerkt door een zeer intens scheepvaartverkeer. De belangrijkste scheepvaartroute is oost-west georiënteerd richting de Schelde (Zeebrugge). Door het afsluiten van de Belgische windconcessiezone voor de scheepvaart, zullen schepen hun routes moeten aanpassen en zal de intensiteit van schepen aan de randen van het windmolenpark verhogen.

Uit voorgaande studies (Ecolas, 2003; Le Roy *et al.*, 2006, DNV, 2008) blijkt dat de raming van scheepsongevallen in de Belgische territoriale wateren een zeer moeilijke berekening is. De getallen variëren van meerdere aanvaringen per jaar tot minder dan 0,0005/jaar afhankelijk van het beschouwde gebied, het scheepstype en het type accident (aanvaring/aandrijving; met een schip/platform) dat in overweging genomen wordt. Een inzicht in de werkelijke kans op een ongeval op het BDNZ is moeilijk in te schatten. Verder blijken vooral RoRo (Roll on/Roll off) schepen, vrachtschepen en in minder mate ook containers, betrokken te zijn bij een aanvaring tussen 2 schepen (DNV, 2008).

Analoog hiermee, blijkt een grote variatie te bestaan voor de inschatting van het aantal accidenten die effectief aanleiding geven tot milieuverontreiniging. In de RAMA-studie (Le Roy *et al.*, 2006) wordt vermeld dat de kans op een accident met een lozing van gevaarlijke goederen (milieuverontreiniging) op eens om de 3 jaar ingeschat wordt. Dit aantal wordt eerder als een overschatting beschouwd omwille van allerlei redenen (o.a. karakteristieken van het model in combinatie met het zandbank-systeem). MARIN (2011a) berekende die kans op eens om de 31 jaar. In Ecolas (2003) wordt vermeld dat BMM 3 incidenten met milieuvervuiling per 100 jaar, of eens om de ca. 30 jaar, als een aanvaardbaar risico beschouwd.

Een toetsing van deze inschattingen aan de werkelijkheid toont aan dat er gedurende de laatste 40 jaar een 30-tal incidenten geweest zijn met olie, die een potentieel gevaar opleverden voor de Belgische Kust (Ecolas, 2006). De gelekte volumes variëren echter tussen de 10.000 ton en minder dan 10 ton. De helft van de vervuiling werd veroorzaakt door stookolie, benzine, ‘crudes’, terwijl de andere helft niet geïdentificeerd werd. Dit resulteerde dus in gemiddelde gelekte hoeveelheden van ongeveer 1.500 ton voor het totaal vervuilde gebied en 500 ton voor het BDNZ. Deze grote hoeveelheid is hoofdzakelijk te wijten aan het accident met de British Trent (1993) waarbij ongeveer 5.000 ton in zee terecht kwam. Een analyse exclusief dit accident geeft voor het BDNZ een gemiddelde gelekte hoeveelheid van ongeveer 50 ton.

Omwille van die onzekerheid moeten de cijfers met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Aangezien er blijkbaar geen eenduidige conclusie bestaat over de risico’s van

accidenten en incidenten in de zuidelijke Noordzee, zal vergelijking met het bijkomende risico veroorzaakt door het project moeilijk te interpreteren zijn.

0.4.9.1.2 Bespreking en beoordeling van de cumulatieve effecten

De kans op aanvaring van windturbines door routegebonden en niet-routegebonden schepen is voor het Rentel windmolenpark relatief laag (eens in de 54 jaar voor het scenario met 62 monopiles en eens in de 46 jaar voor 62 jacket funderingen), in vergelijking met de parken aan de NW en ZO uiteindes van de Belgische windmolenzone. Dit is eens in de 18 jaar voor Belwind en eens in de 14 jaar voor Norther op basis van de verkeerssituatie 2012. Op basis van de verkeerssituatie in 2008 was dit nog eens in de 15 jaar voor Belwind en eens in de 11 jaar voor Norther (MARIN, 2011b). Dit komt door de centrale ligging van SeaStar, relatief ver van de drukke verkeersroutes. In Ecolas (2003) wordt vermeld dat BMM 3 incidenten met milieuvervuiling per 100 jaar, of eens om de ca. 30 jaar, als een aanvaardbaar risico beschouwd (-).

De totale aanvaar- en aandrijfkans van het SeaStar windmolenpark is slechts 8,9% van de totale aanvaar- en aandrijfkans van alle windmolenparken in de worst-case scenario 1-62. De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar (MARIN, 2013). Op basis van de verkeerssituatie in 2008 was dit nog eens om de 4 jaar (MARIN, 2011b).

De windturbines aan de randen van SeaStar waar geen andere windparken liggen, hebben de hoogste aanvaringskansen. Doordat het verkeer aan de zuidwest kant van het park wordt weggehouden door een no-go zone in verband met het BOG eiland, hebben de turbines aan de noordoostkant van het park de grootste aanvaarkansen.

De aanvarings/aandrijvingskans wordt vooral bepaald door het aantal turbines, in mindere mate door de afmetingen ervan. De grotere afmetingen van jackets worden ruimschoots gecompenseerd wanneer een kleiner aantal turbines wordt gebruikt. Het gebruik van een jacket vergroot de kansen voor windpark SeaStar per turbine met gemiddeld 13% tot 16%. Het gebruik van turbines met meer vermogen op eventueel grotere funderingen is gunstiger dan meer turbines met kleiner vermogen op kleinere funderingen.

Het cumulatief effect van de verschillende windmolenparken (toename in aantal turbines) op aanvaring van turbines is maximaal gelijk aan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Het cumulatief effect zal waarschijnlijk zelfs kleiner zijn, omdat door de omlopende verkeerstromen bij de afsluiting van een park het aantal windturbines die aangevaren kunnen worden verminderd.

In het BDNZ zal het aantal schepen nagenoeg niet toenemen door aanpassing van de verkeerstromen volgens scenario's 1 en 2, ten opzichte van een basisscenario (Belwind, Northwind, C-Power, Norther). De verschillen zijn het grootst voor scenario 2: de passagiersschepen (+1,16%), bulkers (+0,49%) en unitised schepen (+0,59%) (MARIN, 2013). Voor de verkeerssituatie van 2008 waren dit de chemicaliëntankers (+0,07%) en de olietankers (+0,13%) die toenamen door aanpassing van de verkeersstromen (MARIN, 2011b).

Het aantal schepen betrokken bij een aanvaring zal door de veranderde verkeerssituatie bij scenario 1 afnemen met 0,11% ten opzichte van het basisscenario en bij scenario 2 toenemen met 0,21%. De kans op aanvaring neemt wel exponentieel toe met de intensiteit. Het cumulatieve effect van de bouw van de windmolenparken, waardoor de densiteit in de

vaarroutes rond de Belgische windmolenzone steeds verder toeneemt, zal dus groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk.

De kans op persoonlijk letsel bij een aanvaring en aandrijving is bijzonder klein. Er wordt dan ook ruimschoots aan de criteria voor het extern risico, zowel het individueel als het groepsrisico, voldaan.

De kans op uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het BDNZ (zonder windmolenparken) neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een turbine van het SeaStar windmolenpark onder scenario 1-62 toe met 3,1%. Ter vergelijking, voor het Norther windmolenpark was dit 7,4% toename (MARIN, 2011b).

De gemodelleerde uitstroom van olie is een 'worst case' benadering. Doordat het percentage tankers met een dubbele huid toeneemt, zal de kans op een uitstroom van olie na een aandrijving met een windturbine afnemen.

Uit simulaties van Dulière en Legrand (2011, in: BMM, 2011b) blijkt dat bij zware weerscondities (wind van 17 m/s) de olie de Nederlandse zone kan bereiken in minder dan 3h en de Franse kust ongeveer 18h na lozing. De Belgische kwetsbare gebieden (SBZ-V, SBZ-H en het Zwin) kunnen geïmpacteerd worden binnen 6h. De Vlakte van de Raan en Voordelta kunnen worden bereikt binnen respectievelijk ongeveer 3 en 6h na lozing. Eerste stranding kan verwacht worden 6h na lozing in de buurt van Zeebrugge en binnen ongeveer 12h elders aan de Belgische kust. De olie kan de Nederlandse en Franse kust bereiken binnen 12h na lozing voor de zones grenzend aan de Belgische zone en later voor de verder gelegen zones (ongeveer 24h voor Duinkerke en 24-36h voor Den Haag). Er is dus een relatief korte tijd om tussenbeide te komen in het geval van een olielozing.

Vooral de avifauna, en mogelijks ook zeezoogdieren, zullen de belangrijkste korte termijn effecten ondervinden door olieverontreiniging. De impact van een lozing op het vogelbestand is enerzijds een functie van de aanwezige soorten, hun densiteit en kwetsbaarheid en anderzijds van de vervuilde oppervlakte. Naast de directe slachtoffers die een ramp veroorzaakt, zijn er ook mogelijks negatieve gevolgen voor de populatie (langdurig effect). Het is echter niet altijd eenvoudig het effect van de ramp te onderscheiden van natuurlijke fluctuaties in een populatie.

Bij bovenstaande besluiten moet evenwel rekening gehouden worden met het feit dat dergelijke effecten sterk afhankelijk zijn van geografische, fysiologische, chemische omstandigheden en weersomstandigheden waardoor de olieverontreiniging beïnvloed kan worden. Het cumulatieve effecten van verontreiniging bij de aanwezigheid van meerdere windmolenparken zal mogelijks groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Door de toename van aantal windturbines bij elk nieuw park, zal dit het indammen bemoeilijken omdat de bestrijdingsschepen veel omzichtiger moeten manoeuvreren.

0.4.9.2 Radar en scheepscommunicatie

0.4.9.2.1 Impact op de waarnemingen van de SRK walradarstations

Er zullen zich geen wezenlijke veranderingen voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een realisatie van de offshore windmolenparken binnen het afgebakende Belgische concessiegebied, en dit zowel vanuit de Vlaamse als de Nederlandse SRK radarstations.

Wel dient opgemerkt te worden dat de secundaire navigatieroutes zullen wijzigen, en dat deze wijziging de nodige aandacht verdient in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek op deze gewijzigde routes.

0.4.9.2.2 Impact op de waarnemingen van de scheepsradar

Algemeen kan gesteld worden dat met betrekking tot de operationele werking van de scheepsradar er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft, bij een volledige realisatie van alle offshore windmolenparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ. De meeste fenomenen zijn nu reeds bekend wanneer zich een voldoende groot object (in casu ander schip) in de nabijheid van de eigen scheepsradar bevindt. In de meeste gevallen betreft het zelfs een mast of ander object aan boord van het eigen schip dat de oorzaak van foutieve beeldvorming is. De radaroperatoren aan boord zijn dan ook met deze verschijnselen voldoende vertrouwd. Enkel voor de opvolging van het scheepvaartverkeer in een windmolenpark, of voor de opvolging vanuit een windmolenpark dient de opmerking gemaakt dat er zich direct achter windturbines dode zones kunnen voordoen, maar dat tussenin de transparantie voldoende gegarandeerd blijft.

0.4.9.2.3 Impact op de VHF communicatie en aanverwante marifone systemen (AIS, RDF)

Met betrekking tot de VHF radiostations zullen er zich geen wezenlijke veranderingen voordoen op Belgisch of Nederlands grondgebied voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een volledige realisatie van alle offshore windmolenparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ. Dit geldt evenzeer voor de werking van het AIS systeem als voor het RDF systeem.

Opnieuw verdienen de aangepaste secundaire navigatieroutes rondom de offshore windmolenparken de nodige aandacht in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek, waarbij de radio communicatie doorheen de windmolenparken tussen schip en schip quasi onmogelijk zal zijn.

0.4.9.2.4 Besluit

Algemeen kan dus gesteld worden dat de realisatie en inplanting van het singuliere offshore windmolenpark Rentel geen noemenswaardige invloed zal hebben op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer, zoals het zich momenteel voordoet. Mogelijke cumulatieve effecten van meerdere windmolenparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ, zullen in eerste instantie bepaald worden door de effecten van de projecten Norther en C-Power voor en op de Thorntonbank. Deze gebieden liggen immers het dichtst onder de kust en vormen als het ware de “eerste” barrière voor waarnemingen vanaf de kust. Daarenboven liggen deze gebieden ook nog expliciet binnen de actieve zone van zowel de Vlaamse en Nederlandse SRK radarstations en de operationele VHF radiostations.

Verder dient er op gewezen te worden dat in deze studie enkel de effecten van de SRK radarbewaking van de scheepvaart, de radarwaarneming door de scheepsradar en de VHF radio communicatie (schip/wal en schip/schip) besproken zijn. De bewaking van het hier beschouwde windmolenpark zelf (en van de diverse andere windmolenparken) is in deze studie niet aan bod gekomen. Hiervoor dienen er uiteraard gepaste maatregelen getroffen te worden, vooral om de scheepvaartraffiek om en rond de meer zeewaarts gelegen zijde van

het afgebakende concessiegebied op het BDNZ adequaat op te volgen. Hierbij kan gedacht te worden aan een bijkomende radarinstallatie, op een gepaste locatie en met eventueel een beperkte reikwijdte. Het is echter evident dat een dergelijke extra radarinstallatie meteen alle offshore windmolenparken (Norther, C-Power, Rentel, Northwind, SeaStar, Belwind en Mermaid) en het Alpha-eiland van Elia kan en zal “bedienen”.

0.5 GRENSOVERSCHRIJDENDE EFFECTEN

0.5.1 Klimaat

Er zijn sterke indicaties dat vlak achter een windmolenpark de windsnelheid tot 40% kan dalen. Op een onderlinge afstand van 1.400 m (14 rotordiameters) is er vlak achter het park een verlies van 6% in windsnelheid.

Indien men in de toekomst in het nabijgelegen Nederlandse windenergiegebied ‘Borssele’ windturbines zou plaatsen, dan zou de Belgische windconcessiezone potentieel de wind in dit gebied significant verstoren. Momenteel bestaat er echter nog geen duidelijkheid over de invulling van windmolenparken in de Nederlandse zone, noch over de effectieve verandering in het windklimaat afwaarts van de Belgische windmolenparken. Verder onderzoek naar de ‘schaduweffecten’ van de Belgische windmolenparken is bijgevolg aangewezen.

0.5.2 Geluid en zeezicht

Gezien de grote afstand tot de Nederlandse kust (ca. 38 km) zullen de windturbines van het SeaStar project geen visuele hinder noch geluidshinder veroorzaken.

Boven water aan de grens met Nederland wordt er een specifiek geluid van ongeveer 50 dB(A) verwacht.

0.5.3 Fauna en flora

Er bevinden zich twee Natura 2000 gebieden over de grens met Nederland op 20 km van het SeaStar windmolenpark: de Vlakte van de Raan en de Voordelta.

De effecten op benthos, vissen, vogels en zeezoogdieren in Natura 2000 gebieden worden als aanvaardbaar geacht omwille van de tijdelijk en lokale aard van de verstoring, de grote afstand tot zeehondenkolonies in de Nederlandse Delta, het uitgebreide foerageergebied van zeehonden en vogels, en het ruime verspreidingsgebied van Bruinvissen.

0.5.4 Risico’s en veiligheid

De scheepsdensiteit in de verkeersstromen rond de windmolenparken, ook op Nederlands grondgebied, zal toenemen. Hierdoor neemt de kans op scheepvaartongevallen en de kans op olieverontreiniging toe.

Door het omvaren rond de Belgische windmolenparken nemen de economische kosten en de uitstoot van broeikasgassen toe. De totale toegenomen afstand voor een jaar is echter beperkt..

0.5.5 Conclusie

Gezien de positie en afstand van de inplanting ten opzichte van de grens kunnen enkel beperkte effecten verwacht worden naar Nederland toe. Gezien de afstand van het SeaStar projectgebied tot de Nederlandse kust worden de effecten als aanvaardbaar beschouwd.

0.6 MONITORING

Monitoring moet het mogelijk maken om eventuele veranderingen in het ecosysteem als gevolg van de inplanting van het windmolenpark te kunnen detecteren. Gezien momenteel verschillende windmolenparken actief worden binnen de juridisch afgebakende windconcessiezone is een afstemming tussen de verschillende monitoringsprogramma's aangewezen.

In de diverse thematische hoofdstukken van voorliggend MER worden voorstellen geformuleerd voor monitoring. Deze voorstellen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op de diverse MERs uitgevoerd voor de windmolenparken van C-Power, Northwind, Belwind, Norther en Rentel (Ecolas NV, 2003 en 2004; Arcadis, 2007, 2008 en 2011; IMDC 2012a) en de milieu-effectbeoordelingen (MEBs) uitgevoerd door de overheid voor dezelfde projecten (BMM, 2004, 2006a, 2007, 2009, 2011 en 2012).

0.7 BESLUIT

THV SeaStar heeft een domeinconcessie toegewezen gekregen voor de bouw en exploitatie van een offshore windmolenpark op ca. 38 km van de kust. Het voorziene park wordt gebouwd langs de grens met Nederland tussen de Lodewijkbank en de Blighbank. Het gezamenlijk geïnstalleerd vermogen voor het SeaStar windmolenpark bedraagt minimaal 246 MW en zou maximaal 540 MW bedragen. Het park zal jaarlijks een opbrengst van ca. 800 GWh tot 1.400 GWh genereren, wat overeenkomt met het gemiddeld jaarverbruik van ca. 286.000 tot 400.000 doorsnee gezinnen. Met de realisatie van het windmolenpark wordt invulling gegeven aan de doelstellingen van de overheid ten aanzien van duurzame energie.

Ten behoeve van de besluitvorming over de aanvraag van de vergunningen wordt de procedure voor de milieueffectrapportage met bijhorende milieueffectenbeoordeling doorlopen. Dit MER dient ter onderbouwing van de vergunningaanvraag en behandelt zowel de bouw, de exploitatie, de ontmanteling als de kabellegging van het SeaStar windmolenpark (inclusief de voorbereidende en ondersteunende in situ surveys). In deze MER zijn de milieueffecten voor windturbines binnen een range van 4 MW tot 10 MW besproken, en worden drie verschillende funderingsalternatieven (monopile, jacket, gravitaire) bestudeerd. Hiermee rekening houdend zijn in overleg met het bestuur een aantal alternatieven (configuraties + funderingstype) weerhouden voor het SeaStar windmolenpark, die verder besproken worden doorheen de verschillende hoofdstukken. Het aantal turbines varieert naargelang het gekozen alternatief: basisconfiguratie (41 MP/JF/GBF * 6MW); configuratie 1 (62 MP/JF/GBF * 4 - 6,5 MW); configuratie 2 (54 MP/JF/GBF * 7,5 - 10 MW); configuratie 3 (43 JF/GBF * 6,5 - 7,5 MW). Vervolgens wordt de energie getransporteerd via ondergrondse kabels (voor het traject op zee liggen de kabels ingegraven in de zeebodem) naar Zeebrugge of naar het Alpha-eiland, een nabijgelegen offshore transformatorplatform zoals door Elia voorgesteld in hun ontwikkelingsstrategie. Eveneens wordt de nodige monitoring voor

bewaking en besturing van het windmolenpark voorzien en de vereiste bebakening en markering voor luchtvaart en scheepvaart. Het windmolenpark zal een exploitatieduur van minimum 20 jaar hebben.

Tijdens de constructiefase zal er een tijdelijke milieuverstoring plaatsvinden ten gevolge van de werkzaamheden. Bij GBF dient er een aanzienlijke hoeveelheid gebaggerd zand gestockeerd te worden binnen het concessiegebied, en zal een extra hoeveelheid gebaggerd moeten worden voor het heropvullen van de funderingsput en als ballast. Er treedt een tijdelijke benthische habitatverstoring op door de stockage van het gebaggerd zand en een beperkte en tijdelijke verstoring van de benthische fauna en vissen. Als gevolg van de activiteiten (varen, baggeren, heien, gebruik van de kraan , …) zal er een tijdelijk een verhoogd geluidsniveau aanwezig zijn onder en boven water. Er is onzekerheid over de grootte van de impact van geluid en trillingen op het mariene leven. Als gevolg van de erosiebescherming en de turbines zal er beperkt verlies zijn aan zandbodem als leefomgeving. De creatie van harde substraten zal leiden tot een verhoogde en veranderde biodiversiteit. Waarschijnlijk zullen verstoringsgevoelige soorten en zeezoogdieren het gebied tijdelijk verlaten. Er worden geen effecten verwacht voor de andere gebruikers binnen het BDNZ.

Tijdens de operationele fase treden eveneens een aantal effecten op. Potentiële erosie t.h.v. de turbines wordt tegengaan door het a priori aanleggen en/of monitoren van een erosiebescherming en lokale erosie rond de respectievelijke funderingsvormen. De kans op verontreiniging van water en bodem is verwaarloosbaar. Tijdens de exploitatie van dit windmolenpark worden tot bijna 7,5% emissies vermeden van broeikasgassen in vergelijking met klassieke centrales (significant positief effect). Het windmolenpark zal quasi niet waarneembaar zijn vanuit verschillende kuststeden, aangezien het achter 4 andere windmolenparken ligt. Door het functioneren van de turbines wordt er ook in de onmiddellijke omgeving van de turbines een verhoogd onderwatergeluid verwacht. Boven water zal er ook een verhoogd geluid zijn, wat maximaal hoorbaar kan zijn tot op 5 km. Voor de meeste fauna-soorten zullen (nagenoeg) geen effecten optreden. Verstorings- en aanvaringsgevoelige vogelsoorten kunnen een gering tot matig negatief effect (aanvaring, verstoring) ondervinden tijdens de operationele fase. Verder radaronderzoek is echter wenselijk om deze voorlopige inschattingen te bevestigen. Aanwezigheid en gedrag van zeezoogdieren kan zowel positief als negatief beïnvloed worden door trillingen, geluid, onderhoudswerken en veranderingen in voedselbronnen. Er wordt een indirect positief effect (verhoogde visvangst) verwacht op de traditionele visserij in de nabije omgeving, door het afsluiten van de windmolenparkzone voor boomkorvisserij.

Algemeen mag worden gesteld dat de effecten van de ontmantelingfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de constructiefase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn. Geluidsverstoring zal blijven voorkomen, doch zal beperkt blijven tot de geluiden geproduceerd door de betrokken scheepvaart en de ontmantelingsactiviteiten (afsnijden van turbines tot 2 m onder de zeebodem; weghalen funderingen). De significante geluidsverstoring ten gevolge van het heien (MP/JF) tijdens de constructiefase is tijdens de ontmantelingsfase dus niet meer aanwezig. Ook het biotoopverlies en het daarmee gepaard gaande verlies aan organismen blijft beperkt tot de oppervlaktes die effectief verstoord worden tijdens de ontmantelingsfase. De effecten variëren van (vrijwel) geen effect tot een gering negatief effect, afhankelijk van het beschouwde alternatief.

De voornaamste invloed van de bekabeling is de lokale verstoring van de bodem en de daarin levende organismen. Deze invloed zal beperkt zijn tot de onmiddellijke omgeving rond het kabeltracé en na een tijd verdwenen zijn (gering negatief effect). De invloed van de elektromagnetische straling en de lokale opwarming van de zeebodem (door de warmteontwikkeling in de elektrische kabels) op benthos, vissen en zeezoogdieren tijdens de exploitatie van het windmolenpark is onzeker, maar beperkt tot de nabije omgeving.

Bij de cumulatieve effecten (gezamenlijke effecten van de zes windmolenparken) worden enkel de effecten verder besproken die niet verwaarloosbaar zijn voor een enkel windmolenpark. Voor deze niet-verwaarloosbare effecten zal het cumulatieve effect meestal gelijk of kleiner zijn dan de som van de individuele effecten. Indien gekozen wordt voor een GBF bij het SeaStar, Rentel en Norther windmolenpark (andere windmolenparken opteren voor MP en/of JF), zal in totaliteit voor de zes windmolenparken samen bijna 12,6 miljoen m³ zand gestockeerd worden in de respectievelijke concessiegebieden ten gevolge van de benodigde uitgraving. De vermeden emissies van elk windmolenpark op zich leveren al een belangrijke bedrage tot de voor België vooropgestelde reductiedoelstellingen voor SO_2, NO_x en CO_2. De cumulatieve bijdrage is uiteraard nog groter en komt overeen met de som van de individuele bijdragen. Tijdens de exploitatie blijft het onderwatergeluid van de windturbines beperkt tot de veiligheidszone. Het cumulatieve effect is bijgevolg gelijk aan de som van de individuele effecten. Voor de meeste effecten op benthos en vissen geldt dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijk effecten - vaak recht evenredig met het ruimtebeslag dat in totaliteit relatief klein blijft t.o.v. het BDNZ- per windmolenpark. Voor vogels en zeezoogdieren geldt eveneens dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijke effecten. Enkel naar inname van habitat voor rustende en foeragerende vogels door de uitstralende werking van elk windmolenpark treedt er een cumulatief effect op dat groter is dan de som van de effecten per windmolenpark. Hier wordt het cumulatieve effect op de verstoring van Alk, Zeekoet en Jan van Gent als matig negatief beoordeeld. Er worden geen noemenswaardige negatieve cumulatieve effecten verwacht voor de verschillende gebruikers van de Noordzee. De kans op aanvaring van windturbines is voor het SeaStar windmolenpark relatief laag (eens in de 54 jaar), in vergelijking met de parken aan de actuele NW en ZO uiteindes van de Belgische windmolenzone (eens in de 18 jaar voor Belwind en eens in de 14 jaar voor Norther op basis van de verkeerssituatie van 2012). De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar. Er wordt geen significant negatieve invloed verwacht van de aanwezigheid en exploitatie van de windmolenparken op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer.

Gezien de positie en afstand van de inplanting ten opzichte van de grens kunnen enkel beperkte grensoverschrijdende effecten verwacht worden naar Nederland toe. Gezien de afstand tot de Nederlandse kust worden alle beschouwde effecten als aanvaardbaar beschouwd.

0. NON-TECHNICAL SUMMARY

0.1 PREFACE

According to the Belgian legislation a concession is required for the construction and exploitation of a windmill park. An environmental impact assessment (EIA) of the planned activities needs to be produced as a necessary part of a licence application or prolongation.

This report is the EIA which will be used by the initiator as part of their ongoing or future concession application. This EIA will discuss the environmental impact during construction, exploitation and dismantling of wind turbines, as well as the environmental impact related to cable installation, exploitation and possible cable removal.

This EIA consists of two parts: a non-technical summary (in Dutch, English and French) and an elaborate description of the proposed project and its possible impact. Annexes can be found at the end of the report.

The non-technical summary can be read as a single part by the interested reader who has less time for technical data and descriptions as provided in the next chapters and annexes of the EIA.

The elaborate description includes the following:

Chapter 1:

- Indicates the EIA-requirements, the initiator of the project, the EIA coordinator and the composition of the team of experts.

Chapter 2:

- Provides a technical description of the technology. Each phase of the project (construction, exploitation, decommissioning) is described.

Chapter 3:

- States the legal and policy boundary conditions.

Chapter 4:

- Discusses alternatives for configuration and implementation.

Chapter 5:

- Describes the methodology used for each discipline, the reference situation and autonomous development, describes and evaluates the environmental impact, indicates knowledge gaps, describes more mitigating measures and indicates which monitoring of impact is provided. In the discipline of 'Fauna, flora and biodiversity' an appropriate assessment is conducted for the installation of the export cable, as it can have an impact on the indicated Special Area of Conservation of Zeebrugge.

Chapter 6:

- Indicates the possible cumulative impact of already present or licensed wind farms (C-Power, Belwind, Northwind, Norther and Rentel) in combination with the SeaStar wind farm.

Chapter 7:

- Describes the expected transboundary impact as required within the framework of the Espoo Treaty.

Chapter 8:

- Provides a final synthesis of the environmental impact and proposed mitigating measures for each discipline and for each phase.

Chapter 9:

- A list of consulted literature.

Annexes at the end of this report:

- Annex A: The environmental licence procedure and a confirmation letter of the Rioja cable owners
- Annex B: The coordinates of the obtained domain concession
- Annex C: Location and lay-out of the expanded concession zone
- Annex D: Location of the cable route and explanatory notes to the projects STEVIN and the high-voltage electricity grid of ELIA
- Annex E: Location of protected marine areas
- Annex F: Pamphlets of different types of examples of wind turbines
- Annex G: Magnification of pictures from the section Sea view and Cultural heritage

Finally, several additional studies have been conducted relating to this EIA, added as separate annexes (external annexes). These studies discuss several sub aspects of the EIA into more detail. The most important conclusions have already been processed in the preceding EIA.

External annexes:

- IMDC (2013a). Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11413/13.113/MIM.
- IMDC (2013b). Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar. Numeric modelling of dredging plume dispersion. I/RA/11413/13.114/MIM.
- IMDC (2013c). Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar. Life cycle analysis. I/RA/11421/13.126/MGO.
- Flemtek-IMDC (2013). Study on the possible influence of the SeaStar wind farm concerning: SRK-radar installations, the ship radar and the maritime radio-telephone communication. Commissioned by SeaStar THV, in cooperation with IMDC.
- MARIN (2013). Nautical safety study for offshore wind farm 'SeaStar'. Nr. 25095-1-MSCN-rev.2

0.2 PURPOSE AND INTENDED ACTIVITY

THV SeaStar has been granted a domain concession for the construction and exploitation of an offshore wind farm located at about 38 km from the coastline. The park will be constructed along the border with the Netherlands in a zone located to the northwest of the Lodewijkbank (Northwind domain concession) and to the southeast of the Blighbank (Belwind domain concession). The annual output is estimated at roughly 800 GWh to 1.400 GWh, which is equivalent to the average annual consumption of about 286.000 to 400.000 households. Prior

to the commencement of the construction works, an environmental licence and a licence for the laying of cables must be applied for. For the purpose of decision making with regard to the application for these licenses, the procedures for environmental impact reporting and assessment will be reviewed and discussed.

An environmental impact assessment (EIA) must be drawn up in order to fully reflect the importance of environmental interests in the course of the license application process. This EIA will serve to substantiate the license application procedure and deals with the construction, exploitation, dismantling and cable laying processes of the SeaStar wind farm.

Up to present, it is still impossible for the initiating company to make any statements as to the final choice of turbine and foundation type. In practice, a final choice is only made after conducting an extensive market analysis and upon completion of the tender procedure. In this respect, the references and financial capacities of the various manufacturers, as well as any available economical analyses, 'proven technologies' and a number of other factors also play a decisive role. That is why the EIA starts from one basic configuration and three alternative configurations which fully cover the range of possible installation alternatives. In this way, the methodology and analyses used in the EIA will also take into account a "worst-case scenario" approach. The dimensions and specifications of the final choice of turbine and foundation type will need to be equivalent or inferior to the types described in the EIA.

In the EIA, the following configuration alternatives for the projected SeaStar wind farm are discussed:

Configuration	# Turbines	Rotor diameter	Individual capacity	Total installed capacity	Foundation type	Scour protection
Basic configuration	41	126 m	6 MW	246 MW	Monopile	Yes: Static/dynamic
					Jacket	Optional
					GBF	Yes
					Suction bucket	Identical MP and JF
Configuration 1	62	120-135 m 135 m	4-6,5 MW 5 MW	248-403 MW 310 MW	Monopile	Yes: Static/dynamic
					Jacket	Optional
					GBF	Yes
					Suction bucket	Identical MP and JF
Configuration 2	54	150-165 m 164 m	7,5-10 MW 8 MW	405-540 MW 432 MW	Monopile	Yes: Static/dynamic
					Jacket	Optional
					GBF	Yes
					Suction bucket	Identical MP and JF
Configuration 3	43	140-175 m 171 m	6,5-7,5 MW 7 MW	280-323 MW 301 MW	Jacket	Optional
					GBF	Yes
					Suction bucket	Identical MP and JF

This way the option with the maximum number of turbines will be discussed (configuration 1), the option with the maximal installed individual and total capacity (configuration 2) and the option with the maximal rotor diameter (configuration 3).

A capacity range of 4 MW to 10 MW is thus included in the park lay-out (with a total installed capacity between 246 and 540 MW). As model for each configuration following examples will be used in this EIA: the REpower 6M (6,15 MW) for the basic configuration, the Areva (5 MW), for configuration 1, the Vestas V164 (8 MW) for configuration 2, and the Samsung (7 MW) for configuration 3.

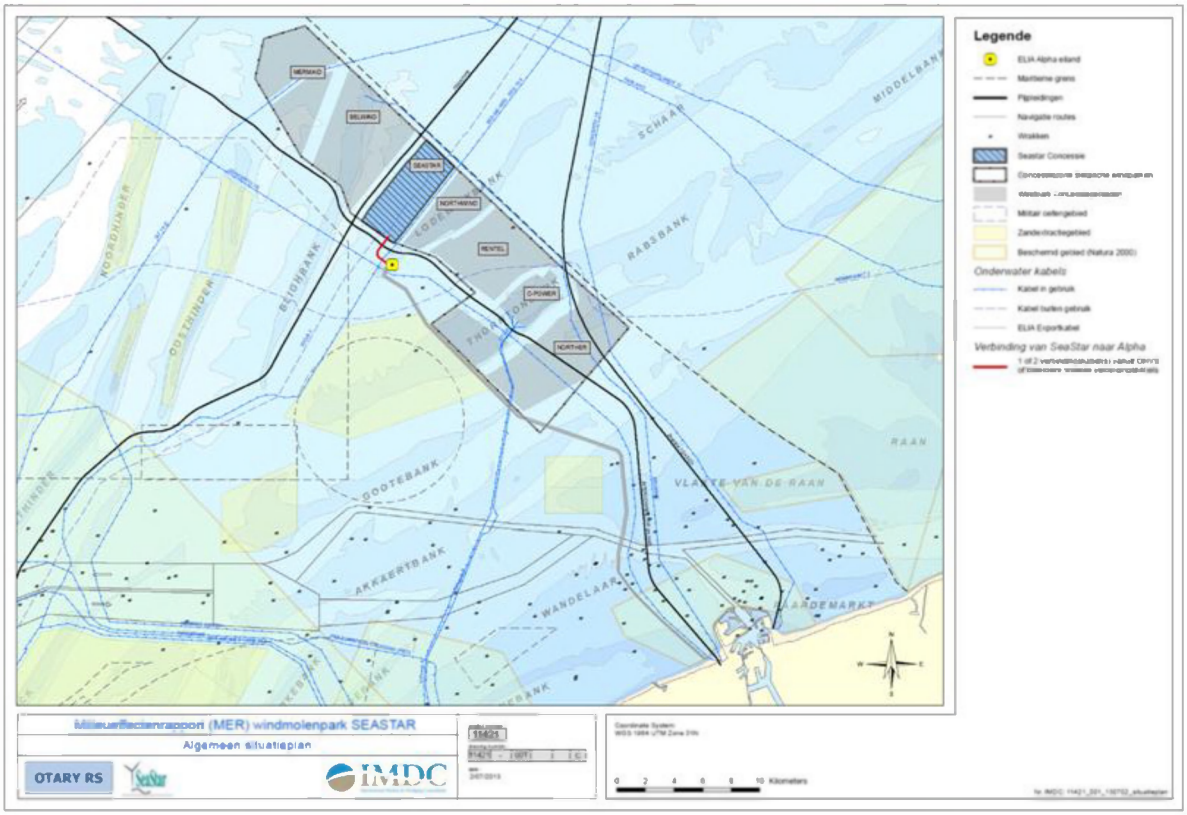
Finally, the cumulative effects of the SeaStar wind farm are discussed, together with the impact of the five currently licensed wind energy projects in the Belgian North Sea area (C-Power, Northwind, Belwind, Norther and Rentel).

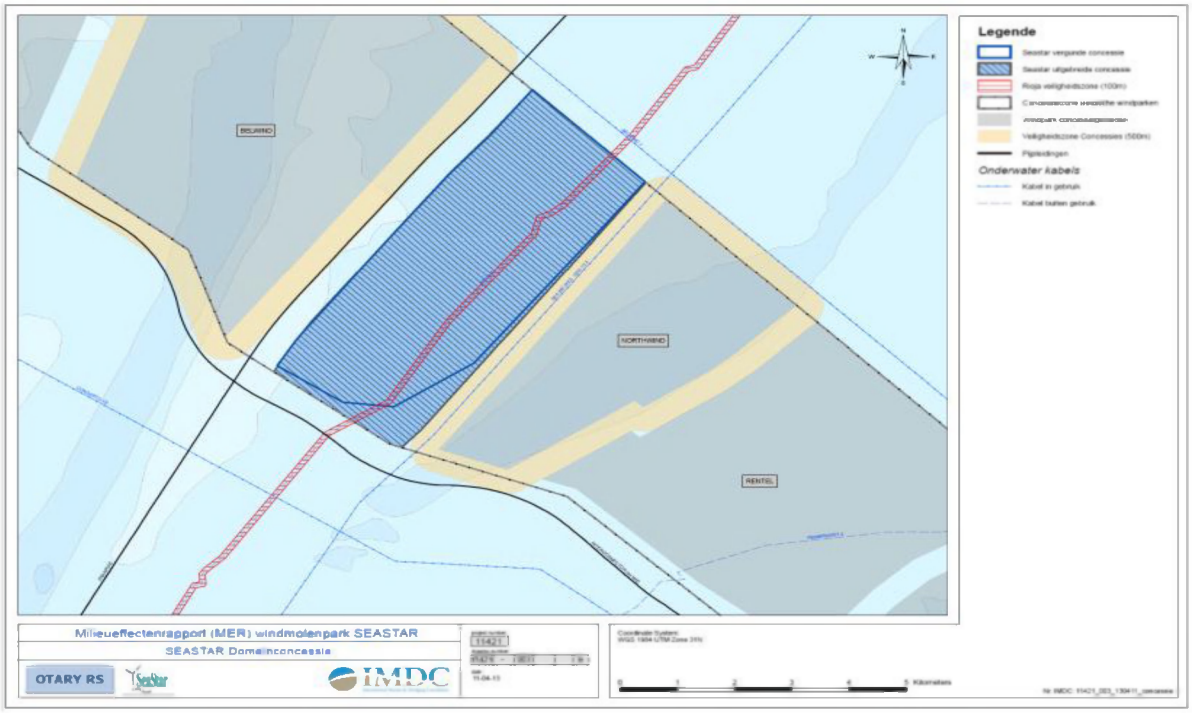
0.3 PROJECT DESCRIPTION

On June 1, 2012, the Federal Public Service Economy, SMEs, Self-Employed and Energy granted a domain concession to THV SeaStar for the construction and exploitation of installations for the production of electricity from wind on a location situated between the Lodewijkbank and the Blighbank (Ministerial Decree (MD) 01/06/2012 (EB-2010-0016-B) “granting of a domain concession to THV SeaStar”).

The capacity range is 4 to 10MW per turbine, with a total installed capacity of max. 540 MW. The generated electrical energy will be transported to either the Alpha island of Elia (Belgian Offshore Grid) or onshore (in Zeebrugge) via high tension cables embedded in the sea floor.

The construction of the SeaStar wind farm is scheduled for the period 2016-2018.


Legende
Onderwater kabels
Verbinding van SeaStar naar Alpha
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
Algemeen situatieplan
OTARY RS
IMDC


Legende
Onderwater kabels
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
SEASTAR Domeinconcessie
OTARY RS
IMDC

The table below reflects the main characteristics of the concept design:

Subject	Description
Location	
Situation	Located 38 km off the coast; Between the Lodewijkbank (domain concession of Northwind) and the 'Blighbank (domain concession of Belwind), along the border with the Netherlands; The project area is located in the zone demarcated for the implantation of offshore wind farms as defined in the Royal Decree (RD) of December 20, 2000, and as amended by the RD of February 3, 2011.
Surface area of the concession area	The total surface area is roughly 18,4 km², with a possible extension to 20,3 km²
Wind Park Organization	Implantation: basic configuration and the three alternative configurations, see Annex C Depth of the sea floor of the concession area: -22 to -38 m TAW (General Second Water Passing); Minimum distances to be observed towards the Interconnector and Franpipe gas pipeline (500 m), the SEA-ME WE3 seg 10.4 telecommunication cable (250 m) and the inactive telecommunication cable Rioja (50 m in case of non removal), and the buffer zone of 500 m to be respected for the adjacent wind farms.
Wind Turbines	
Implantation	Basic configuration and three alternative configurations; see Annex C
Type – Capacity – Rotor diameter	Ca. 4 to 10 MW per turbine; The different configurations are illustrated using a number of typical examples: Basic configuration: rotor diameter 126 m, individual capacity 6 MW, corresponding to a total installed capacity of ca. 246 MW. Type model: REpower 6M turbine; Configuration 1: rotor diameter 120-135 m, individual capacity 4-6,5 MW, corresponding to a total installed capacity of ca. 310 MW. Type model: Areva 5 MW; Configuration 2: rotor diameter 150-165 m, individual capacity 7,5-10 MW, corresponding to a total installed capacity of ca. 432 MW. Type model: Vestas V164 8 MW turbine; Configuration 3: rotor diameter 140-175 m, individual capacity 6,5-7,5 MW, corresponding to a total installed capacity of ca. 301 MW. Typical example: Samsung 7 MW turbine.
Number	Basic configuration: 41 turbines ; Configuration 1: 62 turbines ; Configuration 2: 54 turbines ; Configuration 3: 43 turbines.
Production	Ca. 800 to 1.400 GWh/year
Foundation of the Wind Turbines	
Either monopile	The monopile is a tubular steel pile which is driven and/or drilled into the ground. The suction bucket technique can also be used. The piling depth required for obtaining a stable foundation depends on the soil profile. Around the pile, an scour protection barrier is put in place. This scour protection can be either static or dynamic. This foundation type can be used for the basic configuration and for configurations #1 and #2.
Or 'jacket'	The jacket foundation consists of a truss or lattice tower, constructed of steel pipes with four points of support. The piles are either driven into the ground or put in place using the 'suction bucket' technique. Levelling of the seabed is foreseen for max. 50% of the locations and a dynamic scour protection for the other 50%. This foundation type can be used for all configurations.
Or 'gravity based'	A gravity based foundation consists of a hollow concrete block, which changes into a more narrow-shaped section on which the wind turbine is installed. The foundation is prefabricated onshore and is lowered to the previously levelled seafloor from a vessel or pontoon. Around the foundation, a scour protection barrier is applied. This foundation type can be used for all configurations.
Wind Measuring Mast	
Number	Not foreseen in the SeaStar windmill farm

Subject	Description
Foundation of HV Substations	
Type	Similar to the foundations of the turbines.
Electric Infrastructure	
Park cables within the wind farm and direct cables to Alpha	The wind turbines are linked in groups (4-5 strings) of ca. 30 MW or 60 MW each to a 33 or 66 kV park cable and are connected to an OHVS (Scenario 1 option B) or directly to the ELIA Alpha-platform outside the concession area (Scenario 1 option A); Cable routes Scenario 1, option A: see Annex D; Cable laying depth: ca. 1 m under the sea floor.
Offshore High Voltage Substation (OHVS)	Number: max. 1, (scenario 1, option B and scenario 2), depending on the interarray cabling and the external connection with the nearby offshore transformator platform (Alpha-platform, ELIA); Step-up transformers 33 kV → 150-220 kV or 66 kV → 150-220 kV.
Cables coming from the OHVS to Alpha or to shore	Scenario 1, option B en scenario 2: 3-fased 150 kV or 220 kV cable; depending on the installed capacity 2 x 150 kV or 1-2 x 220 kV; Cable route scenario 1, option B and scenario 2: see Annex D; Cabling will be done according to the guidelines drawn up by the Maritime Access Department (Department of Mobility and Public Works) and by other competent bodies; Connection point at the coast (scenario 2): the to-be-built station STEVIN in Zeebrugge Connection point scenario 1, option B: the Alpha-platform of ELIA on the Lodewijkbank
Exploitation	
Control and monitoring of the wind farm	SCADA-system (Supervisory, Control And Data Acquisition) from a control room on land
Frequency of scheduled maintenance	The first years several times per month, later once a year, excluding unplanned maintenance and repairs
Logistics – access to the windmill farm	Access using maintenance ships (windcats) or access by helicopter.

0.4 IMPACT ASSESSMENT

In this section, the most important results of the impact assessment for each respective discipline are summarized, including the impact of the construction, operational and dismantling phases of the project, as well as the cabling. Any possible mitigating measures are also taken into consideration.

The associated environmental impacts have been identified and evaluated on the basis of the project description and the available literature and through consultation with the parties concerned. In order to determine the significance of a specific impact, the order of magnitude, scale or range, as well as the duration (temporary or permanent nature of the impact). The effects described are rendered in the form of a plus-minus assessment (Tabel 0-1). Positive effects indicate an enhancement, maintaining or strengthening of the (natural or desired) environmental characteristics, while a negative assessment is indicative of the disappearance, decrease or deterioration of a specific (natural or desired) environmental characteristic.

Table 0-1 Definitions used for describing and assessing the different environmental impacts.

Symbol	Impact level	Description	Assessment with regard to the environment/organisms
++	Significantly positive	Measurably positive improvement of the quality of the environmental conditions on a large scale (Belgian Part of the North-Sea). Of a temporary or permanent nature.	Very positive
+	Moderately positive	Measurably positive improvement of the quality of the environmental conditions on a limited scale (project area). Of a temporary or permanent nature.	Positive
0/+	Slightly positive	Small measurable positive improvement of the quality of the environmental conditions on a limited scale (project area). Of a temporary nature.	Neutral
0	None	Non-measurable effect, or irrelevant.	None
0/-	Slightly negative	Small measurable negative modification of the quality of the environmental conditions on a limited scale (project area). Of a temporary nature.	Negligible
-	Moderately negative	Measurably negative modification of the quality of the environmental conditions on a limited scale (project area) . Of a temporary or permanent nature.	Acceptable
--	Significantly negative	Measurably negative modification of the quality of the environmental conditions on a large scale (Belgian Part of the North Sea) . Of a temporary or permanent nature.	Unacceptable

0.4.1 Soil and water

0.4.1.1 Reference situation and autonomous development

0.4.1.1.1 Soil

The Belgian Part of the North Sea (BPNS) extends over an area of about 3,500 km². The BPNS topography consists of a complex of sandbanks and swales, tidal channels which reach a maximal depth of 30 to 40 metres below LAT (Lowest Astronomical Tide).

The SeaStar concession zone is situated in the tidal channel between the Blighbank, one of the Hinder banks and the Lodewijkbank, which belongs to the Zeeland Banks. Here, water depths range from 22 metres to 38 metres below TAW (Tweede Algemene Waterpassing). The Zeeland Banks are roughly SW-NE oriented, the Hinder Banks are more SSW-NNE oriented. The surface consists mainly of sand.

An exploratory seismic campaign has already been conducted by G-tec (2013) in the SeaStar concession zone. Seismic profiles show how the Tertiary layers tilt towards the NE. The topmost Tertiary geological unit is an erosive surface forming a discordance between underlying Tertiary layers and the Quaternary, covering the Tertiary layers. The underlying Cenoziac deposits are mainly built from an alternation of sandy and clayey layers. In the SeaStar concession area the Formation of Malgegem is directly situated under the Tertiary. The complete sequence of this formation is present in the concession area, with the Member of Onderdijke, consisting of blue-greyish clay as the top Tertiary unit.

The topmost layer of the seabed was deposited during the Quaternary. The Quaternary deposits in the BPNS are very thin and fragmented, causing underlying older deposits to

outcrop at the surface. The SeaStar concession area is however located at a former palaeo-valley of the river Meuse, where the Quarternary is locally thicker. In the NE of the project area the Quarternary coverage is generally thicker than in the central and western part. The incisions probally match estuarine tidal gullies of Emian age (Pleistocene).

During the Holocene, around 7,000 years ago, tidal sandbanks were formed, such as the Lodewijkbank and the Blighbank. Tidal sandbanks were built from material which originated from local erosion which resulted in the formation of swales (tidal channels) in between. Older Quaternary sediments therefore only occur below the tidal banks where they were protected, or in older river incissions (Mathys *et al*., 2009).

Sandbanks are tidal banks which result from the interaction from sand and SW-NE oriented tidal movements. A fundamental process for the existence of sandbanks is the presence of separate ebb and flow passages at each side of the bank. This causes a circular sand movement over and around the bank which sustains bank stability. Zeeland Banks and the Hinder Banks have a steep eastern flank and the maximum flow velocity is flow-oriented (high-tide / NE) (Lanckneus *et al*., 2001). This would indicate a counterclockwise circular sand movement around the Zeeland banks, unlike the rest of the BPNS. Around the Hinder Banks the ebb current is the dominating flowpattern (SW), this indicates a circular clockwise current around the sandbanks; The SeaStar concession area is located in the transition zone between both types of sandbanks.

An important phenomenon on top of sandbanks and in the swales in between are the sand dunes. Dunes are significantly smaller than sandbanks - a couple of metres high - but are more dynamic and eminently present in the BPNS. In the SeaStar area there are mainly dunes ranging from 2 to 4 metres, and in a little area in its NW area, dunes of 4-6 metres can be found. Both flooddominated and ebbdominated, as well as symmetrical dunes occur. The distance between two successive sanddunes varies from 100 m to 500 m.

At the seabed occurs mainly medium sand with a median diameter of 300-350 µm. In a limited area there is also some finer sand with a D50 of 250-300 µm and coarser sand (D50 350-400 µm). In the project area no gravel has been found (Van Lancker et al., 2007).

An analysis of 18 years of measurements on the Westhinder (1990-2008), show a SW and WSW dominant wave direction. Significant wave have heights of less than 1.0 m for more than 50% of the time and are larger than 2.0 m for about 10% of the time, with an average of around 90 cm. Peak wave periods are between 3 and 8 s for 90% of the time, with an average of 5.5 s. Wind and waves generally show similar trends. The same wave climate is expected in the SeaStar project area (IMDC, 2013a).

To have an idea of the natural local flow velocities and sediment transports in the SeaStar project area, a numeric modelling has been conducted. Details on the design of the model can be found in report IMDC (2013a), added as Annex. Simulations have been conducted for two type of situations: a summer situation, where only tidal flow is important, and a winter situation where waves are also taken into account. Largest average velocities have been observed at the top of the Lodewijkbank and the Blighbank. Also at the location of the sand dune field in the NW and SW of the SeaStar area. In summer conditions local maximum flow velocities of 1.09 m/s are observed in the channel during a neap tide - spring tide cycle. In winter conditions the maximum flow velocity reaches 1.11 m/s.

In the NE part of the SeaStar area, the residual sedimenttransport is dominated by the floodcurrent. Along the eastern side of the concession the sanddunes show clear signs of ebb

dominated sediment transport. Although the signs show evidence of ebb dominated transport, the modelling shows that sediment transport in this part of the SeaStar area is low.

0.4.1.1.2 Water

Temperature values vary between 0.05 °C and 19.8 °C (BBM, 2013). Average water temperature in the BPNS is around 11 °C. This means seasonal variations occur with an order of magnitude of 8 to 9 °C in relation to the average temperature.

Salinity in the BPNS is on average 24-36 g/kg. There is a minor seasonal variation due to the influence of the river supply (Ospar, 2000a). Salinity at the water surface is higher and more constant (32 ppt) than at the seabed (25 to 31 ppt).

It can be assumed that natural concentrations of metals are relatively low in the project area. The most important organotin compound is tributyltin (TBT). It is a biocide which is used as "antifouling" in the aquatic environment. The concentration of offshore tributyltin is <1 ng/l. Bunker oil and lubricating oils are the most important sources of oil pollution in the North Sea. Oil spills from drilling for the offshore oil and gas industry has reduced significantly over the past 10 years (to more than 80%). Human influence on the nutrient balance can clearly be observed at the coastal area and can less be detected at the project area.

Turbidity or clarity of sea water is determined by the amount of suspended material in the water. Specific information for the project area has not been found, but monitoring campaigns on the nearby Thorntonbank and Blighbank show natural background concentrations of 4 mg/l on average, both during summer and winter.

0.4.1.1.3 Autonomous development

Climate change will cause changes in flow characteristics on the BPNS (Van den Eynde et al., 2009) and in the chemical characteristics of the sea water. Even during the exploitation period, changes will already be perceivable. For example, it is generally expected that the sea level will increase about 1 m by 2100 due to greenhouse effects (Reid *et al.*, 2011).

An increase of extreme storms would certainly have an influence of the sediment dynamics, seeing that sediment transport in general takes place during extreme hydraulic conditions. However, analyses conducted by Van den Eynde et al. (2012) show no significant increase in the occurance of extreme wind speeds. Also an increase in wave height, the number of storms and the storm intensity is still uncertain for the Belgian coastal waters.

Next, anthropogenic influence on water quality in the marine environment will continue to decrease more. Concentrations of TBT, heavy metals, nutrient supply by river, etc., for instance, will probably show a positive decreasing trend in the future.

0.4.1.2 Descriptions and evaluation of environmental impact

0.4.1.2.1 Soil impact

Construction phase

When using monopiles (MP) or jacket foundations (JF) a levelling of the seabed will be required for half of the foundations - regardless of the configuration.. Dredged sand (13,300 m³/MP and 11,200 m³/JF) will be stocked permanently in the concession zone. Monopiles require scour protection to be placed afterwards. For JF a (dynamic) scour protection is foreseen for the 50% of the locations where the Quarternary coverage is thinner.

When installing gravity foundations, a foundation excavation is dredged first (90,000 m³/GBF - Gravity Base Foundation). After applying a foundation layer, the GBF is installed, next the excavation is backfilled with the temporarily stocked material, and the GBF is then finally filled with ballast. If suitable this can also be done with prior stocked material. Afterwards, an scour protection is applied.

About 30% of the sand will be lost during stocking due to dredging and deposition losses. Material will also be lost during excavation backfilling and backfill of the GBF with the stocked material. If the quaternary top layer is less than 7.5 m, and the firm Tertiary layers are reached first, the excavation can be made less deep and less sand will have to be dredged and stocked. Tertiary layers consist of clay or clayey sand which could lead to an increased sediment transport and increased turbidity in the water column.

The sand surplus which is obtained when levelling the monopile and jacket locations and excavation dredging at the GBF needs to be stocked on a location with minimum impact on the global morpho-dynamics of the area. The maximum height of the stock should be in the same order of magnitude as the natural sand dunes in the area, and on a minimal surface area, in order to limit the disturbance of the benthos to a minimum (BMM, 2006a; BMM, 2007). By choosing a stocking height of 5 m the balance between both conditions is met. With monopiles the permanently deposited sand, taking dredging and deposition losses into account, uses about 5.6 ha (conf. 1.) if it is stocked with a thickness of 5 m.

With JF the permantently dumped sand covers up to 7.2 ha in conf. 1 when stocked at a height of 5 m. With GBF the temporarily assumed surface is 53 to 79.5 ha. With GBF foundations morphological changes are considered moderately negative.

The deposition area should be located as close as possible to the wind turbines which need to be installed and at the SW of the wind turbines, enabling the stocked sand to be diffused over the concession zone by the predominant high tidal flows in a NE direction. The option to stock per turbine is - despite assuming a relatively large surface area - both from the morphological point of view (faster distribution from smaller piles of sand) and professional-technical point of view (shorter distance between dredging and point of unloading) not rejected.

Dredging and deposition losses will occur again when the deposited material of the GBF will be reused. Therefore more sand than what will have been deposited will be needed when backfilling the foundation pit. Taking into account a loss of 30%, each foundation will require about 88,600 m³ of dredged sand to obtain the necessary 62,000 m³ backfill and infill. In a worst case scenario (conf. 1) this will result in a loss of 1,675,800 m³ of extra material that will need to be dredged. This effect is regarded as moderately negative.

The hypothetical chance of an accidental dumping of pollutants in the water will not lead to soil pollution, considering the current flow conditions and the sandy character of the superficial soil sediments.

At the implementation of scour protection both gravel (calibre 2-120 mm) and quarrystone (calibre 50-540 mm) are being used. When using geologically pure materials for scour protection, the chemical soil quality will (hardly) not be affected.

Operational phase

By applying scour protection, erosion pits are avoided. Such erosion pits can have proportions which would endanger the stability of the total wind turbine construction. Applying scour protection is therefore a positive measure for the soil structure and for management. This

scour protection constitutes a heterogeneity in the sandy soil. As scour protection is placed below the original level of the seabed, scour protection does not form a vertical break-through of the soil structure; it can even be expected that sand will move naturally on top of the scour protection.

Although locally at wind turbine level the natural sediment transport will be interfered, this will hardly affect the global natural processes in the concession zone. This is because the effect of every construction - by the presence of the scour protection - is too small and the distance between wind turbines is too big. Impact of wind turbines on global morphodynamics of the BPNS can be neglected for each configuration alternative.

Applying scour protection is necessary for the stability of the construction and mitigates the impact of local erosion on the soil by the presence of a construction. Although scour protection forms a heterogeneity as such towards the sandy seabed, it is considered that applying the scour protection will have an insignificant negative impact on the environment.

Dismantling phase

In case of a piled monopile or jacket foundation there will be no additional impact on the geological construction of the soil packages involved or on the morphodynamics as such foundations remain partly in their current position. If the suction bucket technique was being used, foundations can even be removed completely. Excavations can then be filled with sand or scour protection material.

With gravity foundations everything is removed and only an excavation for each turbine remains. Again there will be no additional consequences for geology towards the constructional and operational phase. Again it is suggested to fill them with sand, as this excavation would grow by local erosion.

Opting for possible scour protection removal will be determined at the end of the exploitation based on monitoring, state of the art and already acquired experience. In case of removal the original geological construction is re-established. Leaving the construction in place creates a permanent geological artefact for each turbine location on the BPNS.

Cabling

The cables to Alpha or the coast can be installed with ploughs (expect in the sea-lane) at a minimum depth of 1.5 m below the seabed. Also the option of trenching a slot over the entire cable route is considered. In the sea-lane a combination of trenching and ploughing will be used.

Cables are placed on a sufficient depth to ensure that the chance of the cable to be disposed is rather slim. On locations with Tertiary clay the depth is also limited to 1 m, depending on feasibility. Generally Tertiary layers are more compact and contain more clay horizonts than the Quaternary layers they cover. When crossing these types of areas a higher turbidity in the water can develop temporarily and locally (see 'Water').

Damage to cables by anchors at navigation channel level will be avoided by installing the cable in the navigation channel on a suitable depth. Moreover, the cable track will be monitored annually to prevent cable disposal. A possible effect by local erosion where cables form obstructions on the seabed is considered to be slightly negative.

Opting to possibly remove the cables will be determined at a later stage. If the cables are removed, insignificant effects will occur, similar to the effects which occur during the construction phase. No effects occur if the cables remain in place.

Finally, the presence of the cable has an insignificant impact on soil temperature.

0.4.1.2.2 Water impact

Construction phase

During the construction phase - before both cable and wind turbine installation - hydrodynamics are not affected, regardless of the type of foundation. Effects on currents and waves are very local and can be neglected (BMM, 2007).

As with heavy metals, the potential impact of the release of organical pollutants from the top sediment layer during installation is rather small, as sand is mainly being extracted with a low percentage of discrete particles and organic material. As the North Sea has been designated as a special area (according to MARPOL 73/78) for waste since 1991 and for oil since 1999, this activity cannot lead to waste or oil dumping in accordance with the legal prohibition of waste or oil dumping (by ships larger than 400 tons). Dredging can cause a temporary increase of nutrients in the water column. The antifouling paint which is being applied to ships used during the installation phase is TBT-free. No impact is being expected on temperature, dissolved oxygen and salinity.

During the construction of the foundation a local increase of turbidity will be noticed, both by pile-driving works or when using the suction bucket method during dredging and deposition. Normally the work will be carried out under calm weather conditions, hence assuming low natural turbidity. This also means that the settling of the eroded sediment will occur relatively rapidly and in a small circle around the activities.

The impact of piling a MP or JF, or placing a suction bucket, has a smaller impact on the turbidity than the installation of a GBF.

Within the framework of this project a plume modelling study was done to calculate the turbidity during the dredging of the foundation pit of a GBF (IMDC, 2013a, cf. external annex). The dredging of the foundation pit of 90,000 m³ was estimated on 14 cycles of dredging and depositing, taking roughly 1.5 day. To approach the effects in a worst case scenario, a spring tide was used in the simulations. The results of the modelling show that the background value in the region of 4 mg/l (Van den Eynde, 2010) is not exceeded for longer than 3.5h (10% of the time) during the entire dredging activities of 1 foundation pit. It is mainly the depositing activities that cause the highest turbidity.

For the modelled case where dredging takes place on the Northeast side of the concession zone and the dredged material was dumped near the centre, the 4mg/l limit is only breached during a period of 2.1h during the complete dredging works for one pit. During this period the dredging plume will have covered a distance of about 1.5 km. The diameter of the plume is limited to 500 m. When the dumping occurs central in the project area, the 10 mg/l limit is not crossed outside the concession zone.

The construction of the foundation will cause a local and temporary increase of turbidity for every means of implementation and type of foundation, with an slightly negative impact compared to turbidity concentrations which naturally occur during storms.

Operational phase

The construction of a wind turbine does not significantly influence the current. A sea wind turbine causes small changes of flow velocity on both sides of the pole and turbulence at the

lee side of the pole. Waves will not be significantly influenced by the presence of a foundation construction and overhead wind turbine.

No long term effects on water quality can be expected. Risk of an accidental dumping with acute impact on water quality is very slim.

Except for insignificant local turbidity near the foundation by releasing sand near the soil, the activity does not affect turbidity during exploitation, regardless of the foundation type.

Dismantling phase

The effects during the dismantling phase (which consist of removing the poles and possible removal of the scour protection and subterranean park and export cables) will be similar to those of the installation phase. Impact of most effects will be more insignificant than during the installation phase.

Cabling

Installing cables will cause a temporary increase of turbidity. Impact for both cable types and installation types will be considered very temporary and local.

During the operational phase subterranean cables do not influence turbidity. Only if the cable would be disposed after a certain amount of time on a specific location, a temporary increase of turbidity can locally occur when reburying the cable.

0.4.1.3 Mitigating measures

To decrease the impact of the stocked material it is preferred to keep the interruption area as small as possible, but stock should not be higher than the natural sand dunes of the environment. An optimal phasing of the project is inevitably required when temporarily stocking sand, to limit the different losses to a minimum.

As part of the global safety system a clear procedure needs to available which describes how actions can be taken and who will take those actions at the moment when a calamity occurs with negative consequences on water quality (e.g. oil leakage) during the installation, exploitation or dismantling.

0.4.2 Climate and atmosphere

0.4.2.1 Reference situation and autonomous development

The Belgian climate is characterized by a moderate sea climate, with quite a lot of precipitation and wind, as well as small temperature variations between the seasons. To a great extent, the climate conditions prevailing on land also apply to the climate in the area of the projected wind farm. However, on average, at sea there is more constant wind climate and a higher wind speed. On average, the wind speed at a height of 100 m above sea level ranges from 8.5 to 10 m/s, the prevailing wind direction being (W)SW.

As far as the global climate is concerned, the greenhouse effect and the warming-up of the earth are of particular importance within the context of this project. The rise in the atmospheric concentration of CO_2, CH_4 and N_2O is by far the most important cause of the warming of the climate. In order to reduce the emission of greenhouse gases, we will need to switch to environmentally friendly energy sources, such as solar energy, biomass energy, wind energy, and so on.

Data collected by the VMM measuring stations with regard to the air quality reveal that, for the relevant parameters (SO_2, NO_x, dust, ozone and CO), the air quality targets are more than met, and that, as a result, there still is a sufficient capacity for absorbing the impact of additional emissions.

With regard to the autonomous development, it can be stated that if the wind farm is not built, there will not be any emissions resulting from the materials used, or from the construction or dismantling of the wind farm. As a consequence, there will be no temporary impact on the local air quality. In the absence of far-reaching reduction measures, the CO_2 concentrations in the atmosphere will keep on rising, thereby further contributing to the greenhouse effect. A life cycle analysis, conducted for this project (IMDC, 2013c, external annex), shows that the net impact of a turbine in the SeaStar concession area on the CO_2 emissions and energy consumption to be clearly positive.

0.4.2.2 Description and assessment of the environmental impacts

0.4.2.2.1 Construction phase

In the course of the installation of the wind farm, there will be no relevant impact to both the global climate and the local wind climate.

The construction phase not only includes the construction 'as such' of the wind farm. It also includes the extraction of raw materials needed for the production of the different parts and components of the wind turbines. This phase also involves manufacturing of parts and pre-assembly (if any) of the wind turbines and their components in a nearby port, as well as their transportation to the concession area and the actual construction of the wind farm itself. During the production phase, energy consumption and any associated emissions will be far greater than during the transportation and construction phases.

In the external annex (IMDC, 2013c) the life cycle analysis was made for a 10 MW turbine. It was calculated that during the production phase the energy consumption ranged from 16 GWh (jacket foundation (JF) to 18 GWh (gravity based foundation (GBF) and the CO_2 emission ranged from 22,000 T (JF) to 23,000 T (GBF). During the transportation phase it was estimated that a JF would consume 140 MWh and a GBF 152 MWh. The CO_2 emission would range from 36.5 to 38.5 T. Finally, during the construction phase, the energy consumption during the installation of a turbine was estimated as ranging from 400 to 500 MWh. In this phase 114 to 142 T CO_2 would be released.

With regard to the entire construction of the turbines and the wind farm, the additional emissions will only have a negligible negative impact on the air quality.

0.4.2.2.2 Production phase

The production phase encompasses the making of the different turbine components as well as the extraction of the raw materials used to make these components. This phase proves to be the phase with the biggest environmental impact during the life cycle of a wind turbine (IMDC, 2013c). The foundation type that is used has a big influence on the energy need and greenhouse gas emission generated during this phase. For a 10 MW turbine on a GBF 18 GWh energy is used: about 11.3 GWh for the production of the turbine, approximate 725 MWh for the steel transition piece and about 6 GWh for the GBF itself. The production of a JF is more economical, about 4 GWh is needed for the production of the JF. A total amount of about 16 GWh energy is necessary for the production of a wind turbine on a JF.

During the construction of a wind turbine the total emission is about 22,000 T or 23,000 T, depending on the used foundation type. The use of a GBF generates more emission than the use of a JF. Since these emissions do not take place on the SeaStar project site, no negative impact on the local air quality is expected.

0.4.2.2.3 Transportation phase

During the transportation phase the different parts of the turbine and its foundation are shipped towards a harbour near the project site, and later from that harbour to the SeaStar project site. In IMDC (2013c) it is assumed that the wind turbine production facilities are located in Northern Europe, the transition pieces and foundations are produced in Belgium or in a harbour near the SeaStar concession (e.g. Flushing).

The total amount of energy and greenhouse gas emission depends on the used mode of transportation and equipment. In IMDC (2013c) it was assumed that all transportation was done over sea. An estimate for the energy consumption during the transportation of a 10 MW wind turbine is made in IMDC (2013c), for a wind turbine on a GBF and on a JF, 152 and 140 MWh respectively are needed. The CO_2 emission amounts to respectively 38.5 and 36.5 T. Since the Channel is one of the most intensively used shipping lanes worldwide, the negative effects of the extra emissions generated during the transportation phase on the local air quality are limited.

0.4.2.2.4 Operational phase

During the operational phase, only a limited energy consumption will be required for inspection and maintenance of the turbine park. In the life cycle analysis (IMDC, 2013c) the total energy consumption during the operational phase was estimated at 1,640 MWh per turbine. In addition, because the Belgian concession area will be blocked for sea traffic, ships will need to travel longer distances. This will result in a minor additional emission of greenhouse gases.

The most important effect during the operational phase is however the avoided emission on land as a result of the fact that the net electricity output of the wind farm will not be generated using classical production methods, whether or not in combination with nuclear power generation. In practice, these emissions will not be avoided in the strict sense, but the increase of the total emissions will be slowed down.

The annually avoided emissions, as calculated based on the emission factors for classical electricity production, amount to 4.2% (800 GWh) ~ 7.4% (1400 GWh) of the Belgian emissions from classical production for all pollutants. The annually avoided emissions, calculated based on the emission factors for combined classical and nuclear production, amount to 2.3% ~ 4.0% of the Belgian emissions from classical production for all pollutants.

If the electricity generated by this wind farm would actually lead to a significant reduction of the electricity production on land by means of classical thermal generation, this would have a significantly positive impact on the air quality on land in general and on the greenhouse effect and the acid deposition in particular. In reality however, the project will only lead to a slowing-down of the rise in the emissions that contribute to the greenhouse effect.

Although the positive impact on the greenhouse effect will be negligible on a global scale, the emission reduction will still be significant in light of the Belgian reduction targets for CO_2. The European Union has set new targets for Belgium, imposing a reduction of at least 15% of the emission of greenhouse gases in the non-ETS sectors by 2020 compared to 2005 levels

(LNE, 2012). On February 1 2013 the Third Flemish Climate Policy Plan for the period 2013-2020 was approved, so the effectively avoided emissions as a result of the construction of the wind farm will significantly contribute to meeting this target.

Reduction targets for SO_2 and NO_x have also been set within the framework of the NEC Directive (2001/81/EC). For 2010, emission ceilings for SO_2 and NO_x of 99,000 and 176,000 tonnes/year respectively were imposed on Belgium. The actual avoided emissions, calculated on the basis of the emission factors for classical production, amount to 0.63 ~ 1.18% of the emission for SO_2 and 0.36 ~ 0.68% of the emission ceiling for NO_x, which is also significant. In the thematic strategy for air pollution of the European Commission, a review of the NEC Directive is provided. This review does not involve any adjustment of the emission ceilings of 2010, but will set the emission ceilings for 2020. The review of the NEC Directive has not been finished yet.

The impact of the wind farm on the local wind climate (wind speed, turbulence) will be limited to a number of relative local effects. Also the negative impact of the heat emission of the buried cables on the local temperature climate will be limited to a very small surrounding area in the seabed.

0.4.2.2.5 Dismantling phase

During the dismantling of the wind farm, there will be no relevant effects on the global climate and the local wind climate.

The dismantling phase has a positive influence on the energy consumption because about 80% of the turbine material can be reused. Winning or extraction of new raw materials can therefore be minimized.

The impact on the air quality as a result of emissions by vessels used for the dismantling is, just like in the construction phase, of a local nature (in the vicinity of the wind turbines) and limited in time and in every respect very limited when compared to the total emission from sea traffic in the Channel, so that the negative impact on the air quality will be very small. Furthermore, we may assume that the emissions per transport unit due to transportation during the demolition phase will be inferior when compared to the construction phase, as within 20-25 years from now the emission factors of transport vessels will be far lower than today.

0.4.2.3 Mitigating measures

As, globally speaking, wind turbines account for a significant reduction in emissions compared to the emissions caused by classical power plants on land and in light of the very limited impact on air quality during the construction and dismantling phases, there will be no need for any mitigating measures or compensations with regard to the atmospheric discipline.

0.4.3 Noise and vibrations

0.4.3.1 Reference situation and autonomous development

Both offshore and onshore, wave noise determines the background noise level above water level. The lowest sound levels can be expected during a calm sea, with a background sound level of around 45 dB(A) at sea and around 35 to 40 dB(A) onshore at night time. During a rough sea sound levels can increase by more than 10 dB(A). The background sound level 25

m off the shoreline is between 50 to 65 dB(A). Moreover, sound levels depend on wind direction and wind speed. Highest sound levels occur with sea breezes, and with increasing wind speeds.

Below water level, ambient are determined by natural sounds on the one hand and anthropogenic sounds on the other hand. In favourable weather conditions (2-3 Beaufort, sea 1-2, clapotis to minor oscillating sea) a natural background sound level of around 95 to 100 dB (re 1µPa) was measured in the frequency area of 10 to 2,000 Hz at the Thorntonbank. In less favourable weather conditions (3-4 Beaufort, sea 2-3, minor oscillating to oscillating sea) the low frequent noise level increased to 130 dB. In summertime the background sound level can increase by 7 dB. Passing ships can cause a temporary increase in background sound level (up to +10 dB to the max. background sound level) in the same frequency area.

As far as noise and vibrations are concerned, no significant changes can be expected globally for the autonomous development of the area. Only (further) construction and exploitation of the windmill parks of C-Power, Belwind, Northwind, Norther and Rentel will cause a change.

0.4.3.2 Descriptions and evaluation of environmental impact

0.4.3.2.1 Construction phase

As the specific aspects of construction works are concerned, three relevant sound sources can be distinguished: pile-driving work for foundations (for monopile or jacket foundations), dredging (for gravity foundations and half of monopiles and jacket foundations) and navigation (for transport of foundation and turbine elements).

Above water level

Pile drivers make much noise. Especially the strongly pulsating character can cause much nuisance (30-60 beats per minute with every beat a duration of around 50 to 100 ms). At a short distance from a hydraulic pile driver (about 15 m) sound pressure levels of 106 dB(A) can occur. However, these are maximum sound levels (peak level) during the beat. The highest sound level of 50-65 dB(A) on 25 m off the coast line is not increased by the beat of the pile hammer.

Dredging machines are, opposed to a passing ship, a continuous sound source for several days a week in a specific exploitation area. In a moderate stressful situation the sound propagates spherically, and reaches a sound level of 45 dB(A) at a distance of 0.7 km and 40 dB(A) at a distance of 1.1 km when one of the dredging machines is active in the project area. Even if several dredging machines are being used simultaneously, the specific sound at the shoreline still does not exceed the current background sound level.

A passing ship will cause a temporary increase of ambient noise below and above water level. However, the influence of passing ships on the current total ambient sound above water level can globally be neglected at sea in relation to current navigation.

Below water level

When driving the foundation poles for monopile and jacket foundations, the source sound observed below water level depends greatly on the pole diameter and length, local geology and bathymetry. The first two factors influence the amount of energy which is needed for pile-driving work of the poles, the last factor determines the efficiency of the distribution of sound. Using multiple tools for simultaneously pole driving can cause a potential expansion of the impact area. Literature shows that during pile-driving works an average sound level of 250

dBp-p (re 1 µPa) at a distance of 1 m is present with a pole diameter of 4-5 m. As a consequence, sound levels can still be observed at a distance of 20 km during foundation driving works (higher than the background noise level of 105 dB (re 1µPa)).

In favourable weather conditions the underwater noise during dredging can be significantly higher at a few kilometres of the source than the present background sound level.

The influence of passing ships on the current ambient underwater sound at sea can globally be neglected in relation to current navigation.

0.4.3.2.2 Operational phase

Above water level

In a moderate stressful situation the sound propagates spherically, and reaches a sound level of 45 dB(A) at a distance of 1.0-1.5 km and 40 dB(A) at a distance of 2.2-2.8 km. At the border of the safety zone (area of 500 m around the park) the sound level will be lower than 50 dB(A). This can be compared to the sound level caused by minor car traffic on 30 m, rain, a fridge, washing machine or ambient sounds in the woods.

The specific sound calculated at observer level at the coast is around 8-10 dB(A) depending on the scenario chosen for the SeaStar windmill park.

Below water level

Taking a transmission loss of Thiele into account, there will be a transmission loss of 40 dB at a distance of 500 m under water (=border of the safety zone) off the wind turbine, resulting in a possibly masked specific wind turbine under water sound by the background sounds as measured at the Thorntonbank. For a group of wind turbines, as measured in the Baltic Sea, a maximum under water sound level of 110 dB can be expected at a distance of 500 m, this at a wind speed of 8-10 m/s (5 Beaufort).

Only insignificant negative effects will be expected due to the underwater sound during exploitation for all described implementation scenarios. Relative impact on the wind concession or the BPNS can therefore be neglected.

0.4.3.2.3 Dismantling phase

When dismantling the wind mill park, monopile and jacket foundation structures are dismantled up to 2 m below the seabed. The soil around the turbine is excavated and the wind turbine is cut off. Using a sawing machine under water will cause an increased under water sound level. Gravity foundations are emptied and transported as a whole to the main land. Here, sound emissions by tools are lower compared to monopile or jacket foundations.

By transporting the wind turbines on ships there will be a temporary increase of maritime freight traffic, comparable to the construction phase.

0.4.3.2.4 Cabling

Cabling may cause a temporary sound increase, both above and below water level. This increase originates from one ship only, will be observed over a short period of time and will move in function of the location of the ship. The increase of sounds above and below water level will have an insignificant impact on daily sound emissions by navigation on the North Sea.

0.4.3.3 Mitigating measures

For the protection of the environment of underwater fauna several moderate measures can be indicated when installing offshore wind turbine parks. These are discussed into more detail in the chapter 'Fauna, flora and biodiversity'.

The number of offshore observers, which will frequently observe the sound of wind turbines is so limited that it is unnecessary to suggest mitigating measures for sound above water level.

0.4.4 Fauna, flora and biodiversity

The fauna & flora section discusses four different groups of organisms, namely the benthos (macro- and epibenthos), the fish, the birds and the marine mammals. As hard substrates constitute a new habitat with a specific fauna and flora, these are discussed as an additional fifth group.

0.4.4.1 Reference situation and autonomous development

0.4.4.1.1 Benthos and fish

Marine organisms living on the seabed (or: benthos) play an important role within the entire food web. Here, we will make a further distinction between the macrobenthos, being organisms of >1 mm living in or under the seabed and the epibenthos, being the organisms living on the seabed. They are prey to numerous other organisms, such as demersal fish. They also constitute an important factor for maintaining productivity and biodiversity of the sea and they also are an important indicator as to the health status of the marine environment. Our study of the fish will mainly focus on the demersal fish. This is because this group of fish is most likely to be directly affected by the projected activities.

The description of the reference situation and the effects on benthos and fish is primarily based on research carried out as part of the C-Power project with regard to the reference situation and monitoring results on the Thorntonbank and Blighbank (De Maersschalck *et al.*, 2006; Reubens *et al.*, 2009a, 2011; Vandendriesschie *et al.*, 2009, 2011, 2012; Coates & Vincx, 2010; Derweduwen *et al.*, 2010; Coates *et al.*, 2011, 2012). A number of other recent studies (including monitoring reports) were used in which data coming from different research projects were compiled in order to come to a full description of the benthos communities in the entire BPNS.

Along the onshore-offshore gradient of the BPNS, we find four distinct widespread macrobenthic communities. In between them, six other transitional communities can be identified. Each of these communities is characterized by its own specific species, diversity and density and each of them is observed within a specific and well-defined environment. On the basis of the habitat suitability model of Degraer *et al.* (2008), it appears that the project area is mainly suited for housing the poorer *N. cirrosa* and *O. limacina* communities, and, to a more limited extent, also for the richer *A. alba* community. As these predictions are based on a model, it is impossible to render or map the actual distribution of these communities with 100% certainty.

According to the Biological Valuation Map, the project area is characterized by a very low as well as a very high biological value for the macrobenthos (Derous *et al.*, 2007). In Degraer *et al.* (2009), the Blighbank is not mentioned as a potential Habitat Directive Area (habitat type

1110 – sandbanks) with a special ecological value. However, the Lodewijkbank does meet the conditions for being considered as a potential Habitat Directive Area, on the basis of the biological value and the density of the *N. cirrosa* biotope. The project area is very poorly suitable for the formation of *Lanice conchilega* aggregations.

All analyses regarding species composition, density, biomass, diversity and length frequency of the epibenthos indicate a marked difference between the sandbank stations and the gully stations on the Blighbank, with higher densities (up to 6 times higher) occurring in the gullies. Samples taken from the gullies however showed a larger mutual variation when compared to samples taken from the sandbank. The demonstrated seasonal, interannual and spatial variation was mostly due to the varying proportions of a number of common epibenthic species, such as brown shrimp, two species of brittle stars, hermit crab, swimming crab, Sepiola and European common squid. The adjacent gullies are thus, generally speaking, richer and more diverse than the sandbanks themselves, although the entire project area continues to be of less ecological importance when compared to the richer coastal zones. The same argumentation applies to the demersal fish fauna: the gullies are more diverse and rich than the sandbanks, especially in the spring season. In terms of density, the prevailing species during spring are sprat and herring, as well as reticulated dragonet. In autumn, the prevailing fish species are horse mackerel, lesser weever, both pitfish, and sand goby, solenette and dab. In general, fish densities tended to be higher in autumn than in spring (except for the clupeids).

As for the autonomous development, one may say that the benthos communities and the demersal fish fauna would not undergo any substantial changes if no wind farm were to be constructed and exploited. As a matter of fact, long term trends and recent monitoring results don't suggest any significant changes in the dominant species, but just a general increase in density and diversity of species. However, other activities such as fishing and aggregate extraction, as well as climate changes, may have an impact on these communities.

0.4.4.1.2 Birds

From the period 2008-2009 onwards, the SeaStar concession area has been intensively monitored along the Blighbank. The results of these countings reveal that this region has lower average bird densities than the average on the BPNS. Also the biological valuation map of Derous *et al.* (2007) shows that the project area is of very low to average ecological value. Since the Blighbank is located at a significant distance off the coast, coastal species such as the Red-throated diver, Grebe, Common scoter and terns are rare. Six species do occur in relatively high densities: Northern fulmar, Great skua, Little gull, Lesser black-backed gull, Kittiwake and Guillemot. For the Blighbank only the Little gull and Great skua are of importance. If the SeaStar wind turbine park were not to be constructed, one may well suppose that the value for birds living on and around the site will remain almost the same. However, the presence of other wind farms in the vicinity may have an impact on the autonomous development.

0.4.4.1.3 Marine mammals

The marine mammal species which are considered indigenous to the Belgian waters are the Harbour porpoise, the Common seal and the Grey seal, the Bottlenose dolphin and the White-beaked dolphin (Haelters, 2009; 2010). Until 2003, marine mammals were only sporadically observed during seabird counting in the Belgian marine waters (Courtens *et al.*, 2006). These

observations mainly involved seals (both the Common seal and the Grey seal) and Harbour porpoises. Since the spring of 2003, an increasing number of marine mammals has been reported, with a marked dominance of Harbour porpoise and White-beaked dolphins. The cause of this phenomenon may possibly be found in the heavily deteriorating foraging conditions in the northern distribution areas of these species, although other causes cannot be excluded (Courtens *et al.*, 2006).

All mammals are protected species, for which Belgium has assumed the responsibility to protect them and to avoid any negative impacts as much as possible. As a matter of fact, whales and seals are species which have been included in the European Habitat Directive (Annexes II and IV). This means that they may not be intentionally disturbed during wintering, reproduction and migration (Article 12). Within the framework of ASCOBANS (Agreement on the Protection of Small Cetaceans on the Baltic Sea and the North Sea), Belgium also accepted that the parties should strive towards avoiding any significant disturbance, especially disturbances of an acoustic nature (Conservation and Management Plan in Annex to the Agreement) (BMM, 2007).

During migration, a large part of the Harbour porpoise population of the North Sea uses the BPNS. That is why the BPNS is considered as seasonally important for the Harbour porpoise within Europe, especially from late winter until early spring (Haelters, 2009; Haelters & Camphuysen, 2009; Degraer *et al.*, 2010b). As the Harbour porpoise occurs in much larger numbers than the other marine mammal species in the BPNS, and as the Harbour porpoise appears to be very sensitive to disturbance, the impact description focusses on the Harbour porpoise.

0.4.4.1.4 Hard substrates

At present, there are no hard substrates in the concession area of SeaStar, which means that, strictly speaking, there is need to discuss any reference situation with regard to the fauna of hard substrates. In the following paragraphs, a brief description is nonetheless given of the reference situation of the turbines currently installed on the Thorntonbank and Blighbank, in order to clarify the effects of the future wind farm.

The sampling methodology and the results of the monitoring of the epifauna and the fish communities on hard substrates on the Thorntonbank and Blighbank were described by Kerckhof *et al.* (2009, 2010, 2011, 2012) and Reubens *et al.* (2009b, 2010, 2011). For the purposes of this description, epifauna is considered as being all organisms (>1 mm) living on hard substrates (foundations, turbines, scour protection).

As observed in several other studies, the colonisation of the available substrate happened quickly. More than half of the available species (41 of 78 taxa) were observed in both wind farms, with the amphipod *Jassa herdmani* being the dominant species (densities of 90.000 ind/m²). During the first year the succession took place in a similar way in both parks. After the first year, sessile species showed a very different colonisation pattern. On the concrete foundations of C-Power a significantly higher number of species was encountered compared to the steel monopiles of Belwind (70 vs. 49 species). The biological growth in both parks shows strong similarities with communities on artificial and natural hard substrates in the surrounding. Moreover, a total of 8 non-indigenous species were found as early as 2011 (Kerckhof *et al.*, 2011).

The first results for the fish communities of hard substrates in Belgium were collected by Reubens *et al.* (2010). In total, seven distinct fish species were encountered, of which four species were regularly occurred: pouting, cod, horse mackerel and mackerel. The visual observations, carried out between July and October, revealed the presence of a population of at least 29,000 pouts around one single wind turbine. Also the prey species of the pouting (*Jassa herdmani* and *Pisidia longicornis*) occurred in very high densities as epifauna on the foundations of the wind turbines. (Reubens *et al.*, 2010).

Research by Reubens *et al.* (2011) into the behaviour and habitat use of cod in the vicinity of wind turbines suggested that, on the one hand, they felt attracted by the turbines, and that, on the other hand, the small-scale spatial distribution (i.e. choice of habitat) of individual cod is influenced by the diurnal cycle. Further research is however required.

As for the autonomous development, it can be stated that the number of hard substrates as a potential habitat for epifauna and fish will further increase in the future due to the increasing number of (newly) licensed wind farms and the possibilities that are created for the growing of bivalve molluscs using suspended cultivation (RD 07/10/2005). And last but not least, also shipwrecks constitute an ideal habitat for epifauna and fish communities living on hard substrates. However, no increase is expected in this regard.

0.4.4.2 Description and assessment of the environmental impacts

0.4.4.2.1 Benthos

In general, it is expected that the respective impacts on the macrobenthos and the epibenthos will be of a similar nature. As a consequence, we will discuss these impacts for the benthos taken as a whole.

Construction phase

The most important potential impacts during the construction phase are: loss of biotope and disturbance, loss of organisms, sedimentation and noise and vibrations. With the exception of the loss of biotope and loss of organisms, all these effects are of a temporary nature.

As a result of the installation of the foundations, the scour protection barriers of the wind turbines, and possibly an OHVS (offshore high-voltage substations), part of the original soft biotope (predominantly sand with scattered gravel beds) will be occupied by new structures and/or the biotope will be destroyed as a result of the levelling or dredging of the foundation pits (direct loss of biotope). In addition, the biotope will also be disturbed as a result of the storage of dredged sand, for instance in the case of the gravity based foundations (indirect disturbance of the biotope). The disturbance of the biotope will depend on the number of structures, the type of foundation and also on the dimensions of the scour protection.

For the monopile and jacket foundations that will not require prior levelling of the sea floor, the direct loss of biotope per turbine is estimated at 1,018-1,104 m² and 16-28 m² respectively (depending on the type of turbine), and 26,350 m² for the gravity based foundations. For the monopiles and jacket foundations, which do require levelling of the sea floor, the direct loss of biotope per turbine is 9,450 m² and 9,400 m² respectively. Depending on the type of foundation, the total direct loss of sandy biotope as a result of the construction of the entire wind farm (including the transformer substations) will vary between 4.3 ha (basic configuration, MP with dynamical scour protection) and 245 ha (conf. #1, GBF), or respectively 0.2%-11.6% of the concession area. We may thus conclude that the direct loss of biotope varies from nearly nihil (MP with dynamical scour protection) to moderately negative (GBF).

In case one opts for gravity based foundations, this will result in a substantial disturbance of the biotope due to the (temporary or not) storage of the dredged sand (+/- 63,000 m³/GBF). As for the monopiles and jacket foundations, which require prior leveling of the sea floor, the volume to be dumped is approx. 13,300 m³/MP and 11,200 m³/JF, respectively. The surface of the disturbance of the sea floor due to storage of dredged sand will depend on the chosen storage scenario and will, in a worst case scenario (conf. GBF), vary between 397 ha (1 m storage) and 79 ha (5 m storage).

There is a marked scaling-up of the total loss of biotope (direct and indirect) if one chooses for a gravity based foundation when compared to the monopile or jacket foundations. This great difference is mainly due to the absent or very limited loss of biotope due to sand storage with monopiles or jacket foundations. In case a scenario involving the storage of the dredged sand (GBF) in layers of 5 m thick, this would mean a decrease of the disturbance level by approx. 80%. The total disturbance of the biotope (scour protection + storage) in the '5 m storage' scenario (the most probable one) for the gravity based foundation remains acceptable (8.9% (basic conf., GBF) to 16.9% (conf. 1, GBF) of the concession area), and certainly in comparison with the entire BPNS (< 0.1%). Moreover, the project area is not characterized by special natural values, so it can be concluded that the loss of biotope for benthic organisms will only have a limited (MP, JF) to moderate (GBF storage 5 m) negative impact on the marine ecosystem.

The loss of benthic organisms is directly proportional to the loss/disturbance of the biotope. Despite the absence of site-specific data (biomass and population structure), the lethal effect can be derived from data contained in the reference study for the Thorntonbank, where the loss of biomass (macro- and epibenthos) is estimated at approx. 33 g/m² (De Maersschalck *et al.*, 2006). If one opts for a monopile or jacket foundation, the negative impact is considered slightly negative. In case of a gravity based foundation, we see a significant rise in the loss of organisms when compared to the other two foundation types. Here, the impact of the mortality on the biomass or on the functioning of the local ecosystem is expected to be moderately negative. Moreover, re-colonization of the moved sand (storage) is very likely to happen within the first year. Furthermore, because the project area will be closed for trawler fishing, a refugium will be created for the benthos. The loss of sea floor organisms due to fishing (mortality of 5-65%) can thus be avoided (E-connection, 2007).

The dredging activities required for placing the foundations and the dumping of the dredged sand (gravity based) will not only lead to a (temporary) loss of biotope, but will also result in an increased sedimentation and turbidity in the immediate vicinity of the works. Moreover, the SeaStar project area is situated in relatively limpid Channel water. Less light will pass through the water column as a result of the turbidity. This may potentially prevent the growth (primary production) of the phytoplankton, which might have an impact on the food chain. A dredging plume modelling study (IMDC, 2013b – external annex) shows that when dredging a single foundation pit, the background turbidity of 4 mg/l will not be exceeded for more than 10% of time during the dredging activities (3,5h). Concentrations higher than 4 mg/l will not spread further than 2.5 km of the dumping zone and the plume itself will never be larger than 500 m across. It can be expected that the disturbance through sedimentation as a result of the dredging activities for the SeaStar project will have a moderately negative impact if one opts for the construction of gravity based foundations. For monopile or jacket foundations, the impact will only be slightly negative.

Underwater noise probably has the greatest impact on fish and marine mammals. However, vibrations and pressure variations caused by noises can also have an effect on invertebrates, such as crustaceans (Popper *et al.*, 2001). Research conducted on Horns Rev and Nysted however revealed that the noise impact on benthic communities due to piling activities is negligible (Dong Energy *et al.*, 2006).

Operational phase

During the operational phase, the potential effects on the benthos are limited to changes in the hydro-physico-chemical condition of the project zone and impacts due to noise and vibrations.

The water quality will not be negatively influenced by a potential release or spill of oil or the presence of scour protection. Also, no effects are expected to the oxygen regime. As a consequence, it is expected that there will be no significant impact on underwater life.

As the negative influence of noise on the benthos during the operational phase is considered negligible, the impact during the exploitation phase is evaluated as practically non-existent for all configuration alternatives.

Also, no negative effects on the original benthic communities were detected with regard to the changes in the hydro-dynamics caused by the presence of wind farms on the sea floor structure (Bio/consult as, 2005; Dong energy *et al.*, 2006).

Because birds and fish may find themselves attracted by the presence of the wind farms, for instance because of the increased availability of prey, the predation pressure on the benthic communities may possibly increase (Leonhard & Pedersen, 2006).

Dismantling phase

Generally speaking, one may say that the impacts during the dismantling phase will be similar to those of the construction phase, but with a far lower intensity and frequency.

Cabling

The most important impact due to cabling on benthos are biotope disturbance, turbidity, the appearance of electromagnetic and potential heating.

Both during the preparation works and during the offshore installation of the cables, a temporary and local disturbance of the biotope will occur. In the course of the preparation works, this will be especially so during leveling or pre-sweeping and pre-run, because a kind of dragging and/or dredging technique will be utilized which will result in local churning-up of the sea floor. As this disturbance is of rather limited in size or scope when compared to the entire BPNS, the impact of the biotope disruption on the benthos can be considered as negligible. Furthermore, one may assume that a natural recovery of the benthos communities will occur after completion of the works.

The increased turbidity caused by the preparation works and the laying of the cables for the SeaStar wind farm will be of a much less magnitude than that described for the construction phase and is considered practically non-existent.

The transmission of electricity via the sub-sea cables will lead to the creation of electrical and electromagnetic fields. The nature of these electromagnetic fields will depend on the type of cable used. Some invertebrates will probably be more sensitive to electromagnetic fields, but, on the basis of the currently available knowledge, the magnitude of the impact and the causal relationship are not yet sufficiently understood (Gill *et al.*, 2005; Dong Energy *et al.*, 2006, BERR, 2008).

The buried cables will produce a certain amount of heat. Because the cables are laid a certain depth, they will only cause very local warming of the seabed surface. The effect is considered from non-existent (for epibenthos) to negligible (for macrobenthos).

0.4.4.2.2 Fish

Construction phase

Some of the impacts on fish during the construction phase are similar to those described in the 'Benthos' section, e.g. habitat loss and biotope disruption. The loss of organisms will however be less severe, given the greater mobility of fish.

All life stages of fish will also be temporarily disrupted due to the churning-up of the sea floor, underwater movements and other activities on the sea floor. However, it is very likely that these fish will move away from the spot where the works are carried out, so that the impact will be smaller than with the sedentary organisms (IMDC, 2010a). This means that the negative effect should only be temporary and that the organisms will quickly return to the project area as soon as the building phase is over. It is possible that the mating and spawning areas are disturbed during the construction phase, but it is expected that they will recover quickly and that they will regain their attractiveness during the operational phase. As such, the disturbance may also have a positive impact, namely an increased availability of prey species as a result of, for instance, the churning-up of the sediment (Grontmij, 2006).

An important disturbance during the construction phase is the production of noise and vibrations due to piling activities (for monopile and jacket foundations), the cable laying activities and the increase of marine traffic. It is however not evident to determine the magnitude of the disturbance, as there still exist many uncertainties about transmission losses and the corresponding degree or intensity of the noise disturbance. This disturbance can lead to significant effects (hearing damage, bleeding, mortality, changes in behaviour) with certain species of fish. Besides their potential effects on the adult fish populations, also the fish larvae may be affected by the piling activities. According to Prins *et al.* (2008; 2009), one may assume that mortality will occur within a radius of 1 km of the noise source (worst case scenario), although other studies point out that this must be nuanced (Bolle *et al.*, 2011).

Despite this uncertainty, it is clear that the effect of piling will increase proportionally to the number of turbines to be installed and also to the diameter(s) of the piles. On the basis of the available literature, the impact of piling on fish populations is judged to be moderately negative for those configurations where monopile or jacket foundations are pile-driven into the seabed. Although the piling activities are of a relatively short duration, a project using monopiles or jacket foundations is only acceptable provided that a number of mitigating measures are implemented and that a monitoring program is put in place, in order to maximally minimize the significantly negative effects. The impact of noise for gravity based foundations is almost nil in comparison with the other two foundation types. With gravity based foundations, only the noise of dredging vessels is of importance and that noise is considered far lower than the noise produced by piling, increased vessel traffic and the pouring of the scour protection. Also when the suction bucket principle is used, whereby monopiles and jacket foundations are not pile-driven into the sea floor, the impact of noise and vibrations will disappear.

Operational phase

As already discussed for the benthos, no effects are anticipated during this phase with regard to water quality, oxygen regime and hydro-dynamics. In addition to the more common forms of

disturbance, we will more specifically deal with the impact on fish populations of noise and vibrations produced during the operational phase.

Norro *et al.* (2011) have indicated that a slight increase of the sound pressure level occurs around the gravity based foundations on the Thorntonbank when compared to the ambient noise level as measured prior to construction. A significant increase of the sound pressure level has been observed around monopile foundations. Such noise emissions are far lower than during the construction phase, especially where pile-driving is required in the course of the construction phase. However, any such operational noise emissions will occur during the entire lifespan of the wind farm.

Most fish react strongly to low frequencies (below 50 Hz). These frequencies only occur in the immediate vicinity of the wind turbines (over a few hundred meters max.). Frequencies between 500-2000 Hz will have practically no impact on fish, especially because the influence of the wind turbines is similar to that of ambient noise (Hoffmann *et al.*, 2000; Thomsen *et al.*, 2006). Inside the safety zone (500m) , it is expected that the underwater noise caused by the wind turbines will be masked (for majority of the frequencies) by the prevailing background noise and, consequently, will have little or no impact on most fish species. Habituation is also expected to occur due to the continuous nature of the noise produced by wind farms. At high wind speeds (≥ 13 m/s), it is expected that the more sensitive fish species will stay at a distance of minimum 4 meter from the wind turbine (Wahlberg & Westerberg, 2005), which will be an obstacle for permanent settlement of these fish on the rubble surrounding the foundation. Monitoring conducted on the Horns Rev wind farm in Denmark has also shown that fish are not really affected or embarrassed by any such noise and vibrations and that some new species have even settled in the area (Leonhard & Pedersen, 2005). Despite the uncertainty regarding the quantitative assessment of the noise impact on fish in the course of the operational phase of the wind farm, one may well suppose that these impacts will of a lesser importance and also that technological improvements are likely to lead to further reduction of this type of impact. As a result, this type of impact is evaluated as slightly negative for all considered configuration alternatives.

There is also the possibility that the area will be closed for other economic activities, as a result of which the concession area will no longer be disturbed or disrupted by destructive forms of fishery (especially bottom trawling). This will have a positive effect on the fish population (refugium effect).

Dismantling phase

Generally speaking, the effects of the dismantling phase will be similar to those of the construction phase. However, their intensity and frequency will be far lower. The significant noise disturbance caused by the piling activities (monopile/ jacket foundation) during the construction phase will no longer be present. Also the loss of habitat and the correlated loss of organisms will be limited to the surface areas that are actually being disturbed during the dismantling phase. The effects vary from (practically) none to a slight negative effect, depending on the configuration alternative.

Cabling

The effects due to cabling on the demersal fauna are: biotope disturbance, increased turbidity and the appearance of electromagnetic fields. The impacts with regard to biotope disturbance and turbidity are analogous to the impacts on the benthos.

The transmission of electricity over the sub-sea cables will generate electric and magnetic fields, which will also be detectable outside of the cable. The nature of these electromagnetic fields depends on the type and capacity of the cable. Electromagnetic fields may affect certain sensitive fish species, especially with regard to their orientation behaviour, migration behaviour, hunting behaviour and their general occurrence close to the cables. However, the magnitude of the impact and the causal relationship cannot as yet be accurately assessed on the basis of the currently available knowledge. The best documented and most intense impact is the one on rays and sharks, both species being practically absent from the project area. In the light of this fact and on the basis of the local nature of the impact and the fact that the cables will be buried at a depth ranging from 1m (wind-park cables) to ≥ 2 m (export cable), which will have a mitigating effect (reduction directly proportional to the depth squared), one may assume for now that there will not be an impact on the fish fauna at population level.

The buried cables will produce a certain amount of heat. Because the cables are laid at a certain depth, this will only generate a very limited and very local warming of the seabed surface. The impact on fish is considered non existent.

0.4.4.2.3 Birds

Construction phase

During the construction phase, the following impacts may cause a significant disturbance for certain species as a result of the construction activities: barrier effects due to noise disturbance, sedimentation and changes in the availability of food.

During the works, a barrier effect may occur which might affect migrating birds. This barrier effect will mainly be due to the noise production in and around the concession area and the presence of vessels. Bird species sensitive to disturbance may want to temporarily avoid the area, while other species may possibly benefit from the construction activities because of a temporary rise in the availability of food sources as a result of the churning-up of the seabed and the increased ship activity (Stienen *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006). However, the Blighbank is not of significant importance to these disturbance-sensitive species (Vanermen & Stienen, 2009), as result of which no general significant negative effects are expected.

If gravity based foundations are used, then a huge amount of sand will need to be dredged and moved. Whirling-up of the soil sediment may impact the foraging capabilities of bird species, such as tern, who rely on their visual capacities when hunting prey. However, this effect will only be temporary and will only cover a restricted area. As a consequence, no significantly negative effects are expected with regard to visually hunting birds. This type of impact is evaluated as slightly negative.

Negative effects on fish larvae may arise due to the pile-driving activities. Recruitment of the species concerned may be affected and may lead to a decreased availability of prey for certain fish-eating bird species. This might have a slightly negative effect on birds.

Operational phase

During the operational phase, wind turbines can cause problems for birds in several ways. Firstly, they can collide with parts of the turbines and get killed or injured (collision aspect). Secondly, birds can be disturbed by the turbines, whereby distinction must be made between the direct effects in the form of loss of foraging and resting areas and restriction of flyways for the birds and indirect effects such as disturbance due to the physical presence, movement or noise production of the turbines (disturbance aspect) (Stienen *et al.*, 2002).

With regard to the collision aspect, the impact will mainly depend on the number of birds passing (flux), as well as their flying height. On the basis of presently available monitoring results (Vanermen & Stienen, 2009) it may be expected that especially large gulls (Great black-backed gull, Lesser black-backed gull and Herring gull) are more likely to collide with the wind turbines due to their body size and flying height (chance of 1/500). Other species such as the Great skua and the Northern gannet are also vulnerable to collision due to their large body dimensions and their low manoeuvrability. Razorbills and Guillemots never fly at rotor height. On the basis of currently available monitoring results, only slight differences are expected with regard to the collision risk in relation to the types of wind turbines used. One may however assume that the more turbines are installed, the higher the collision risk will be.

In the course of the monitoring research conducted on the Thorntonbank and Blighbank in 2010 and 2012, surprisingly significant effects were already found which are directly due to the presence of the offshore wind turbines (Vanermen *et al.*, 2011, 2012). The Thorntonbank showed a marked increase within the impact area since the construction of the first turbines for the populations of Little gull, Great black-backed gull, kittiwake, Common tern and Sandwich tern. The same is true for the Common gull and the Herring gull on the Blighbank, while Guillemots and Northern gannets significantly decrease in numbers.. On the other hand, at the time there were only 6 out of the 54 planned wind turbines constructed on the Thorntonbank, so these results must be considered as 'highly preliminary'. The fact that birds tend to be attracted to the wind farm may however result in a negative impact with regard to the collision risk.

With regard to Annex I 'Bird Species' of the EU Birds Directive, the collision risk for Common tern and Sandwich tern is assessed as limited. Based on their low disturbance sensitivity and also on the fact that Little gulls tend to fly relatively low over the water, one may expect that the future implantation of offshore wind turbines along the migratory route of this species will not cause any important impact on this species as well.

Dismantling phase

It is expected that the effects during the dismantling phase will be similar to those occurring during the construction phase. Therefore, these effects can be evaluated as being slightly negative.

Cabling

The cable-laying activities may lead to a temporary disturbance of the avifauna. Both cable route alternatives run through the Birds Directive Area 'SBZ-V3 Zeebrugge'. The dedicated marine reserve 'Baai van Heist' and the Habitat Directive Area 'SBZ-H Vlakte van de Raan' (notified at European level) are not crossed. However, these effects are of a temporary and limited nature and can thus be considered as being moderately negative. Also during the berming activities of the C-Power cable in Ostend, no major disturbances were observed (BMM, 2009).

The presence of the cables during the operational phase will probably have no direct effect on the sea birds.

0.4.4.2.4 Marine mammals

Construction phase

During the construction phase, marine mammals may be affected by changes in food availability, as well as by disturbances caused by the different construction activities, the

increase in ship traffic and the vibrations and noise due to the pile-driving and dredging activities.

The construction of wind farms may have an impact on the food sources, as a result of which some areas may become less attractive for marine mammals. For instance, there is the extra noise due to the pile-driving of monopiles or jacket foundations, which may lead to avoidance behaviour of fish up to several kilometres from the noise source. As a result of the decreased availability of food, or because the area is no longer suitable as a breeding area, marine mammals might (temporarily) leave the area (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005).

Given the limited number of additional transports when compared to the present ship movements in the BPNS (mainly on the existing shipping lanes), and given the non-permanent nature of this, no additional negative effects in the form of disturbances are expected to occur resulting from the overall construction activities for the wind farm (BMM, 2011). It is expected that the marine mammals will abandon the actual site of the works and its immediate vicinity, after which they will simply avoid the site for the time being. However, upon completion of the construction phase, they should return to the site.

As far as noise disturbance is concerned, it is assumed that pile-driving of monopiles and jacket foundations will have a significantly negative impact on marine mammals in the immediate vicinity of the pile-driving locations. Decisive factors for the occurrence of effects on marine mammals due to pile-driving activities are: the sound pressure level of the source (which strongly depends on the diameter and the length of the pile and therefore also on the foundation type), the power of the pile strokes, the water depth and the local properties of the seabed (determining factors for noise propagation), the duration of the pile-driving activities and the period in which these activities are carried out. Disturbance may chase away harbour porpoise and other marine mammals out of the areas that are most suited for feeding. Considering the seasonal high density of harbour porpoise in Belgian waters and the large distances on which disturbance may occur, behavioural changes can be expected for hundreds to thousands of animals. Although the pile-driving activities will only take a relatively short period of time, a project that uses monopiles or jacket foundations will only be acceptable provided that a number of mitigating measures are taken and a monitoring program is put in place in order to minimize the hearing damage and other significantly negative impacts on marine mammals. In contrast to monopile and jacket foundations, gravity based foundations do not require ramming of piles, which means that no high-level 'impulsive' sounds will be generated. The noise level will also be far lower if the suction bucket technique is used.

Operational phase

During the operational phase, impacts on marine mammals may occur, such as disturbances due to the vibrations and noises produced by the wind turbines, the loss of habitat resulting from the physical presence of the wind turbines, or disturbances caused by maintenance works and possible changes in the availability of food sources.

Marine mammals possess an advanced sonar system which allows them to navigate and hunt without using any other sense organs (echolocation). This echolocation ability may potentially be affected by the noise produced by the wind turbines during operation (Bach *et al.*, 2000). Harbour porpoise can hear the noise produced by the wind turbines during operation up to a distance of about 50 m (Henriksen *et al.*, 2003). For seals, the noise is audible up to a distance of 1 km (Dolman *et al.*, 2003). However, these effects are not likely to occur over large distances. Given its continuous and uninterrupted sound level, the noise produced by the

turbines will nonetheless have a disturbing impact on marine mammals in the immediate vicinity of the wind farm (Tougaard *et al.*, 2008).

During the operational phase, an increase of the number of marine mammals in and around the wind farm may possibly occur, as a result of the cessation of fishing activities in the area, the increased availability of food, and the availability of new food sources resulting from the physical presence of hard substrates. This effect will be greatest where gravity based foundations are used, given the large surface area covered by the scour protection barrier.

Dismantling phase

In a worst case scenario, it is expected that the effects during the dismantling phase will be similar to those occurring during the construction phase, which means that a disturbance of the marine mammals will occur. However, as no pile-driving and dredging activities are required during the dismantling phase and as the hard substrates will remain in place, this disturbance will have a less negative impact when compared to the construction phase. As a consequence, the dismantling phase is evaluated as slightly negative for marine mammals.

Cabling

The installation of the cables during the construction phase may have a disturbing effect on marine mammals. This effect is however temporary, limited in scope and therefore considered as being slightly negative. After the installation of the cable, the surrounding environment will restore itself. The currently available knowledge about the impact of electromagnetic fields on marine mammals is either limited. However, there is only a limited chance that marine mammals will be exposed to these electromagnetic fields.

0.4.4.2.5 Hard substrates

Construction phase

The introduction of the hard substrates, the so-called reef-effect, in sea areas consisting mainly of sandy sediments can be considered as the main effect of the building of the wind farm (Dong energy *et al.*, 2006). It will lead to a more heterogeneous habitat and a new community typical for hard substrates. The total surface hard substrates possibly available for colonisation depends on the number of foundations (turbines), the sort of foundations, the dimensions (diameter, subtidal and intertidal part) and the characteristics of the scour protection (dimensions, location compared to the seabed).

For all the configuration alternatives, the total surface of hard substrate will vary between 69,500 m² (basic conf., MP) and 277,000 m² (conf. 1, GBF). The choice of gravity based foundations will increase the area which could need to be colonised, because of the bigger scour protection.

The C-Power monitoring results (Kerckhof *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2012) show that this colonisation happens quickly and intensely. On top of that the study also showed a high diversity compared with other artificial substrates in the area. It is very likely a mussel area will be created and oysters and also tube worms will be present in the future. Long term studies show it takes 5 to 6 years for a stable community is formed, dominated by filter feeders (mussels e.g.) and permanent brown and red algae (Jensen *et al.*, 2000; Leonhard and Pedersen, 2005)

Depending on the point of view, this effect can be positive (increased bio-mass and diversity, attraction of fish) or negative (disruption of natural habitat, attraction of non-indigenous

animals). Whether this impact is positive or negative, its size is difficult to gauge for the offshore wind farms in the North Sea. The total surface of hard substrates is very much dependent on the type of foundations (with or without scour protection), how complex the foundations are and the number of turbines. It is clear, however, that the surface of hard substrates will be bigger in the case of gravity based foundations than with monopiles and if a configuration is chosen with a larger number of turbines. Although jacket foundations do not need an scour protection they could also attract large numbers of organisms due to their more complex structure. The part which will in reality be available for colonisation by organisms will be restricted however, no matter what foundations are used, because the foundations and the scour protection both will be fully or partially dug into the seabed and therefore fully covered by the present sandy biotope. It is therefore to be expected that, notwithstanding the change compared to the original situation, the effect can be considered acceptable (0/- or 0/+) because the available surface for the development of a new community will be relatively small compared to the BPNS (smaller or less than 0.01%).

Operational phase

During the operational phase, the possible effects of hard substrates will be restricted to changes in the hydro-physico-chemical situation of the project zone and possible noise pollution by working turbines, as discussed for the benthos.

Dismantling phase

Dismantling of the wind farm could lead to a complete disappearing of the hard substrates. The question has to be asked if this is a good or a bad thing because on the one hand the original sandy substrates are restored but on the other hand there is a loss of bio-diversity and other possible functions the artificial reef has done during operations (stepping-stone, spawning area, attraction of certain organisms). The impact of this however cannot be calculated yet because only initial results are available about the introduction of hard substrates into a mainly sandy environment.

Cables

The main effects as a result of the cables for the epibenthos and the demersal fish fauna of the hard substrates are biotope disruption, increased turbidity, the creation of electromagnetic fields and possible heating up. These will be the same as the ones discussed for benthos and fish.

0.4.4.3 Mitigating measures

0.4.4.3.1 Benthos

Foundations need to be dug and cables need to be laid with the best possible technology available so as not to disturb the seabed. Building materials and rock dumps will consist as much as possible of natural products and will not contain rubbish or secondary raw materials. The foundation holes and the sand dredged for the cables need to be refilled and replaced as much as possible with the same quality sand as the original and after finishing the building works, repair of the site is required.

In order to have as little impact as possible, it is preferable to bundle the cables of the different wind farms and connect to the land grid via the Alpha platform. In case the export cable does need to go directly to land, the existing cable routes of other wind farms will be followed as much as possible insofar there are no technical or safety issues (e.g. lack of space).

0.4.4.3.2 Fish

The mitigating measures and compensations valid for benthos, remain valid here as well. There is uncertainty about the importance of the project area as spawning area. If this is the case, an agreement needs to be reached to execute if possible the most disturbing building works outside of the most vulnerable periods.

0.4.4.3.3 Birds

During the evaluation process, the following important points of impact have been noted: the loss of habitat, the impact of barriers and collisions. The same mitigating measures (EIA Norther, EIA Northwind, EIA Belwind, EIA C-Power and EIA Rentel) have been included for these points as in the previous EIAs: a bird friendly composition, the use of sound or visual signals and switching off the farm during periods with lots of movement (e.g. when birds migrate) or in bad visibility conditions. It is also best to execute work outside of periods with high bird concentrations or when there is an increased possibility of the presence of marine mammals (Stienen *et al.*, 2002).

0.4.4.3.4 Marine mammals

Although the pile-driving will only take a short while, a project using monopiles or jacket foundations is only acceptable if a number of mitigating measures or a monitoring program is applied. Possible measures are the use of an acoustic deterrent device and the application of a 'ramp-up procedure', where the first pile-drivers are done with minimal force and the power is 'ramped-up' afterwards. The efficiency of many of these proposed measures is doubtful however, so research into their efficiency is required (Boon *et al.*, 2010).

0.4.4.3.5 Hard substrates

As for the mitigating measures for benthos, attention is primarily paid to decent monitoring strategies and extra scientific research.

0.4.5 Seasight and cultural heritage

0.4.5.1 Reference situation and autonomous development

The North Sea seems to be one uniform water surface, stretching all the way to the horizon and it is one of the few unspoiled landscapes of real ecological importance left in Belgium. This clear horizon, as a unique landscape, is an important natural value of the North Sea. From most places on Belgium's coastline the seasight is perfect and there is no doubt that it is this view which is a very important factor for Belgium's coastal tourism. On good days, ships can be seen far away on the horizon whereas in the proximity of the harbours, there will usually be more activity with the coming and going of container ships, dredgers, fishing and leisure boats. If you look from the coast inland, then you will find the Belgian coast dominated by a small 67 km long strip of high-rise, starkly dividing the sea and the polders.

The cultural heritage at sea consists mainly of ship wrecks. Based on information from existing databases of ship wrecks and from an inventory of ship wrecks executed within the GAUFRE (Maes *et al.*, 2005) project framework, we can deduce that there are no shipwrecks in the SeaStar project area. Along the route of the export cable, some wrecks can be found. . Apart from ship wrecks, there is a growing interest in paleo-landscapes as a new subject of cultural

heritage. Alleged (reinstated) remains of the medieval islands of Wulpen, Koezand and Waterdunen can be found near the current 'Vlakte van de Raan' sandbank. (Pieters *et al.*, 2010, Mathys, 2009).

The cultural heritage on land consists of landscapes and relicts of traditional landscapes, more particularly polders and dunes, the IJzer Estuary and the Zwin, with its exceptional landscape ecological value as mud flats and salt marsh areas.

As far as the autonomous development is concerned, (further) erecting of licensed wind farms (C-Power, Belwind, Northwind, Norther and Rentel) will change the seasight. The impact of these farms on the seasight from the coast will mainly be determined by the distance between coast and farms. The seasight will possibly also be changed by the developments in the shipping industry. Growth of harbours and demand for bigger ships could change the existing view. As far as autonomous development of the cultural heritage on land is concerned, there are at the moment no developments planned which can change that heritage.

0.4.5.2 Description and assessment of the environmental impacts

0.4.5.2.1 Construction phase

Considering the wind farm will be built far into the sea, the building activities will be barely visible and the impact of these activities on how tourists and locals will experience their seaview will be insignificant to negligible. It is also important to state that when the Rentel wind farm is being built, other wind farms closer to the coast will already be built, therefore rendering the visual impact of farms further away even less important.

The preparatory activities on land (such as the pre-assembly of turbines and other parts of the farm) in a nearby harbour will have a local visual impact, but the presence of materials and the activities can be considered a temporary touristic activity. The negative experience for the locals can be counter balanced by the positive experience for tourists. Generally speaking we can categorise this activity as neutral because of its temporary character and possible positive impact.

0.4.5.2.2 Operational phase

The SeaStar wind farm is located 38 km in front of the Belgian coastline. Because it will be located behind other wind farms, the view from the coast on the SeaStar windmill farm will be blocked by the Norther, C-Power, Rentel and Northwind windmill farms. SeaSight from the coast with or without the SeaStar wind farm will not change substancially.

A recent poll (Grontmij, 2010) shows that only 6 in 1,000 people experience the wind farm by the port of Zeebrugge as annoying (5%) and only 3 (2.5%) the wind farm at sea. When watching a picture showing a simulated view of 3 future wind farms (C-Power, Northwind and Belwind) from the beach in Blankenberge, nearly 78% of the polled people considered the view as (very) acceptable (Grontmij, 2010). A smart and considered choice of wind farm lay-out together with its pattern and orientation are factors which can positively influence their experience and acceptability. Informing the public beforehand can also contribute to a project's acceptability and is considered to add extra value.

For fencing-off and lighting, work is executed according to the IALA and ICAO guidelines and possible further guidelines of the authorities.

The operation of the wind farm will more than likely not have a direct or indirect impact on the (maritime) cultural heritage. The exact location of fossil mammal remains around the Thorntonbank is not known and the impact of the SeaStar wind farm on archaeological remains cannot be determined.

0.4.5.2.3 Dismantling phase

The impact of the dismantling stage on the seasight and the cultural heritage will be the same as during the building phase.

0.4.5.2.4 Cables

Laying the export cables from the wind farm to the coast can have an impact on the maritime cultural heritage because along the route there are several (known) wrecks. When the wrecks can be completely avoided, the impact on the heritage can be kept to a minimum.

0.4.5.3 Mitigating measures

To inform the public beforehand can have a positive effect on the acceptance of a seasight influenced by the planned wind farm.

In order to avoid ship wrecks being damaged, it is to be recommended to have a side scan sonar or comparable survey done before the building of the wind farm and laying of the export cable(s) or to at least use the already existing data of surveys already done for the laying of other cables.

0.4.6 Interaction with other human activities

0.4.6.1 Reference situation and autonomous development

Human activities in the Belgian marine zones concern mainly economic activities and several of these activities use specially fenced off zones for, for example, fishing, marine culture, shipping, sand and gravel extraction, dredging and dumping of dredging waste, wind farms, military use, gas pipes and telecommunication cables, tourism and leisure and scientific research.

The concession zone is located fully within the area destined for the build and operation of installations for renewable electricity (KB 17/05/2004, adjusted by KB 03/02/2011). It has also been decreed that this activity takes priority over possible other activities in this area. The cable route which lands in Zeebrugge, crosses the Special Protected Zone at Zeebrugge (SBZ-V3) and the shipping route ‘Het Scheur’.

In this non-technical summary, we shall only discuss the activities which actually take place within the concession zone. Considering there are no possible interactions with other activities in the immediate area or further along the BPNS, these activities are not included here. It is further discussed though in the corresponding chapter.

0.4.6.1.1 Fishing

Shrimp and demersal fish, mainly sole, ray and plaice (Tessens and Velghe, 2011; Vanderperren and Polet, 2009) are the most important fish caught with cod, dab and whiting of

less importance. Fishing is mainly take place in the channels between the sandbanks where shrimp fishing is mainly carried out at the sandbanks and takes place closer to land.

In 2011 the Belgian offshore fishing float consisted of 86 boats, making the BPNS for the Belgian offshore fishing industry of less socio-economic importance, because nearly 65% of its fish caught comes from the central and southern parts of the North Sea. The offshore fishing industry does however face international and national socio-economic problems because of a continuous diminishing of biomass in the higher trophic levels of the North Atlantic area since 1950 and an increasing fishing activity between 1950 and 1975. Researchers have concluded that the current fishing levels cannot be maintained and that the higher trophic levels of fish will be gone completely within a few decennia in the North Atlantic area (Dickey *et al.*, 2010). This also shows in the statistics showing nearly all kind of fish 'outside of safe biological limits'.

This is mostly also the case for the Belgian fishing industry. Only between 1950 and 1955 an increased supply took place after which the supply and size of the fleet steadily declined. Since the start of the Nineties the supply by Belgian fishing boats has declined nearly every year and we now have more or less 50% less supply than 20 years ago.

0.4.6.1.2 Cables and pipes

There is only the one inactive telecommunication cable Rioja crossing the concession zone. The usual recommended safety distance is 250 m, but because Rioja is no longer in use, a 50 m safety distance for the wind farm's several lay-out configurations can be used. There are no gas pipes in the SeaStar concession zone.

The two proposed alternatives for the export cable, to Alpha and to Zeebruges will cross several telecommunication cables and gas pipes.

0.4.6.1.3 Sand and gravel extraction

Since 2004 the concession zones for extraction of aggregates have been changed following KB 01/09/2004 and the MB 24/12/2010 now there are four 'control zones'.

The cable route to shore runs along the western edge of the Belgian concession zone. At that location, however, there is a small overlap between the Belgian concession zone and the concession zone 1A for sand and gravel extraction. This area is only seldom used though and is mostly a monitoring area without any extractions.

In the near future the amounts of sand extracted will increase significantly for the realisation of amongst others the Masterplan Coastal Safety which includes for example the Integrated Coastal Safety Plan and the OW plan including Ostend and the Zwin Project.

0.4.6.2 Description and assessment of the environmental impacts

0.4.6.2.1 Fishing industry

The potential loss of access to the traditional fishing grounds is generally speaking considered to be the main negative aspect of the development of wind farms at sea (Mackinson *et al.*, 2006). The loss of fishing grounds could lead to loss of income and job losses but because of the lack of specific financial data, a detailed economic analysis is very difficult. The SeaStar wind farm will cause an extra maximum loss of fishing grounds (ca. 0.6% of the BPNS), considered the small surface (20,3 km²) and the fact that the concession is of minor importance for the fishing industry, this direct loss can be considered as negligible. The impact

on the fishing industry as a result of the wind farm is therefore only slightly negative and a lot less relevant than the loss of income as a result of fluctuating fuel prices and the restrictions imposed by the European fishing policy.

When the full concession zone for wind farms will be in use (240 km²), this will equate to ca. 7% of the BPNS closed for the fishing industry. Despite the bigger loss compared to just the SeaStar wind farm, we can conclude that, following the previous reasoning, this still is slightly negative because the small fleet mainly works within the 12 mile zone, which only slightly overlaps the concession zone.

Apart from the loss of square mileage, the fishermen are also worried about the short and long term impact during the construction and operation of the wind farm. During the construction phase, the pile-driving (preferably monopole/jacket foundation) is considered to be the main factor for changes in fish behaviour and the digging of foundations (if gravity based foundations are chosen) and the laying of cables will cause sediment disruption. The most important impact during the operational phase will be the change in fish behaviour as a result of hard substrates' introduction.

The development of the wind farms does not only have a negative impact, there are also opportunities, such as the creation of spawning areas and protected nature reserves. The closure of this zone for the fishing industry will also inevitably lead to the absence of the disruptive influence of the beam trawl which rummages through the seabed and destroys organisms (Dayton *et al.*, 2002; Lindeboom 2002)

There is at last also the positive impact on the fish harvest in the area. Scientific research (Roberts *et al.*, 2001) has shown that even small (10-25 km²) marine reserves can have a significant impact on the fishing industry in the area. This impact can lead to a significant increase (46 – 90%) in the amount of fish caught in the neighbouring area within a relatively short space of time of five years. Although it is still to be proven if these data are applicable within the special case of the BPNS, there is a considerable amount of agreement within the scientific world about the 'spill-over effect' of protected maritime areas, which is even more intense in a network of marine reserves.

0.4.6.2.2 Cables and pipelines

Considering that within the concession zone the required (reduced) safety zone for the telecommunication cable Rioja will be respected, no impact is expected on the existing cables and pipes as a result of the implantation and operation of the wind farm.

Depending on the alternative chosen, the export cable will have to cross several telecommunication cables, interconnector, and the export cables of existing farms. It is reasonable to expect though that measures will be taken to prevent damage to existing cables and pipes.

0.4.6.2.3 Sand and gravel extraction

The SeaStar concession zone is far enough removed from the control. The proposed west-route for the export cable at the edge of the Belgian concession zone is however also on the edge of control zone 1A. However, only little extraction takes place there and it is mainly anticipated to be a reference zone for farm activities. Therefore, no conflicts are expected and the impact of the wind farm on the sand and gravel extraction can be considered as minimal.

0.4.6.3 Mitigating measures

No mitigating measures or compensations are proposed for other human activities during the SeaStar wind farm development.

0.4.7 Risks and safety

The description of the reference situation and the evaluation of impact for shipping, oil pollution, radar and shipping communication is discussed in the 'cumulative effects' § 0.4.9 of the non-technical summary.

In this chapter shall only discuss the safety aspects of the installations.

0.4.7.1 Reference situation and autonomous development

In this chapter the safety risks of the installations and the possible consequences of an accident are briefly discussed. An estimate of the safety risks linked with the infrastructure of the wind farm itself is based on data from literature. The described risks are valid for any configuration. Labour risks are not discussed in this EIA.

At the moment, there are no installations in the SeaStar concession zone.

0.4.7.2 Description and assessment of the environmental impacts

Nowadays all wind turbines are subject to several category systems and that is also the case for the wind turbines of this project. In order to categorise these turbines, they are checked as a whole and on their parts (blades, nacelle, electrical equipment, foundation, pylon . . .). The turbines are IEC 61400 certified.

SGS expects the fail frequency to be the highest for the small parts in the nacelle at 0.0012 per year or once every 833 year. For all the other parts there is an even lower fail frequency, making it a very low risk and the fail impact of the installations is acceptable.

As far as safety is concerned, it is important to check how objects and activities in the immediate area can be affected by for example a broken off blade. In case of an overspeed situation with a 3 MW turbine, we expect the maximum throw distance to be more or less 440 m. Because of the limited non-linear rise in maximal throwing range between 1 MW, 2 MW and 3 MW turbines, it is expected that the used 500 m safety distance around the concession zones (cf. KB 11/04/2012) is sufficient to cover the throwing range of 4 MW to 10 MW turbines.

Provisions in order to protect the environment are part of the standard equipment of the turbines and the OHVS. Leakage of fluids (oil, grease etc.) from the installations is avoided or restricted by the presence of several collection devices (drips, edges, containment systems) and also by the way the installation parts have been constructed. This is not the case if a turbine were to topple as a result of extreme weather or a collision with a ship. If, in such a situation, tanks or pipes break or tear, then it is possible all oil and grease within the turbine will be released into the environment. In view of the existing categorization and certification systems, the chance is not non-existent but it is highly unlikely for a turbine to topple by itself during its lifespan. There are more or less 1,000 litres of oil and grease in each turbine (hydraulic system, gear case). For a description of risks and impact caused by collision with ships, please see the chapter 'cumulative effects' (paragraph 0.5.9) of the non-technical summary.

Another environmental risk is fire, When fire breaks out in the nacelle of a wind turbine, or in an offshore high voltage station, this can lead to the release of toxic and environmentally harmful substances into the environment.

0.4.7.3 Mitigating measures

Where important amounts of oil or grease can enter the environment, appropriate sensors can be placed or regular check-ups can be executed in order to quickly identify leaks.

When as a result of an accident or a defect, materials end up in the water which threaten the environment, then these need to be removed and either treated or dumped following the applicable regulations.

0.5 CUMULATIVE EFFECTS

0.5.1 Introduction

The possible effects of a combination of several wind farms can, combined with other human activities at sea, lead to an accumulation of effects. It could be just a case of a sum of all effects of the separate activities, but it could also be a case of certain effects reinforcing each other, or on the contrary fully or partially cancelling each other out. Or it could also be the case that although the separate effects need to be added together, this does not lead to significant problems for all sealife and their habitats, until a previously unknown threshold is crossed after which all of a sudden significant problems do occur. In that case we have to do with a non-linear response.

This chapter deals with the possible cumulative effects resulting from the five licensed wind farms in the Belgian part of the North Sea (Northwind + Belwind + C-Power + Norther + Rentel) combined with the SeaStar wind farm.

C-Power NV is licensed to build a farm at the Thorntonbank and operate it for 20 years. In 2008 they installed six 5 MW turbines (gravity based foundations). During 2012-2013 48 turbines were installed (6.15 MW, jacket foundation). By September 2013 the C-Power windmill farm will be fully operational. There will be a total surface of 8 square miles used for a maximum installed power of 325 MW.

Belwind is licensed for a large scale wind farm of 363 MW at the Blighbank. They received an area concession of 14 square miles and their farm will consist of one hundred and ten 3MW turbines, of which 55 (with monopile foundations) are already operational. It is presumed the other 55 will also be installed using monopile foundations.

Northwind is licensed for the building and operation of seventy-two 3 MW turbines (total surface: 5.5 square miles) at the Lodewijkbank, situated at about 24 miles from the coast, with a combined installed power of 216 MW. For all turbines monopile foundations will be used. The construction of the Northwind windmill farm started in the spring of 2013. It is assumed that the windmill farm will be fully operational in the autumn of 2013.

Norther received on 18 January, 2012 a license to build a wind farm south-east of the Thorntonbank. This 17 square mile park will be located at 13 miles from the coast and therefore closest to it. The exact configuration is not known yet but the total installed power will vary between 320 to 420MW with in between 47 to 86 turbines delivering it.

Rentel NV has recently received the licence to build a windmill farm about 31 km offshore the Belgian coast. The project area amounts to about 7.1 square miles, with a possible extension to 10.4 square miles. There is room to install 47 to 78 turbines, the total installed power will amount between 289 MW and 550 MW.

Mermaid has also received a zone concession to build and operate a farm, but the license procedure has not started yet, so that park has not been included.

Only those effects will be discussed which have a non-negligible (positive or negative) influence on a certain discipline, for it is assumed that if a certain effect is completely negligible for each farm separately, their cumulative effect will also be negligible. The exception to this rule can be if the effects of separate farms approach a certain threshold, causing the cumulative effect to be in a different category of effects (medium to significant).

0.5.2 Soil

The cumulative effect will only be non-negligible for wind farms using gravity based foundations. In the most probable scenario, the Norther wind farm will install monopiles, while the Rentel and SeaStar wind farm will install jacket foundations. In this case roughly 1.25 million cubic metre of sand will need to be stored for all wind farms. In a worst case scenario, when both Norther, Rentel and SeaStar choose gravity based foundations about 12.6 million cubic metres of sand will need to be stored, as a result of all dredging activities. For the other wind farms, it is presumed the current decisions concerning foundation type are kept: Belwind and Northwind (monopile); C-Power (combination of gravitational and jacket foundation). Storage will take place in stages because it takes 2 years to build a farm and the building period per farm will be different. At the BPNS for example, approximately 2 million cubic metre of sand and gravel is yearly extracted and at different locations 16 million cubic metres has been dredged and dumped back in sea at the provided locations. The cumulative effect therefore, will be smaller than the sum of the individual effects.

The impact on the BPNS morphodynamics caused by the laying of cables is negligible. A combined installation of cables with routes close to each other causes less of an impact than when different routes would be used for each project. Local erosion caused by the construction works is beforehand avoided because of scour protection applied for each farm, except for the jacket foundations. If monopiles are chosen, it can be decided that the scour protection is sufficient. When gravity based foundations are chosen, there is some doubt because of lack of scientific research and experience and that is why the contractors include an even bigger safety margin when calculating the scour protection. The cumulative is by far smaller than the sum of the individual effects and should there be local erosion, then this can easily be solved by additional dumping of scour protection.

If the scour protection is removed, a hole will be created near the foundation and the repair of the foundation holes cannot be estimated in time or space based on our current knowledge. The cumulative effect will not be bigger than the sum of the individual effects.

0.5.3 Water

The foundation construction will cause a local and temporary increase in turbidity which will be greatest for the SeaStar configuration 1 with 62 gravity based foundations. However, when compared to natural increased turbidity during storms, this is considered to be an acceptable

effect notwithstanding the cumulative effect. The cumulative effect will be the sum of the individual effects. The impact on the turbidity when laying farm and export cables is considered as very temporary and local, definitely when compared to the impact of foundations (see higher). This effect is also considered acceptable.

0.5.4 Climate and atmosphere

An important effect during the operational phase are the emissions which are avoided on land as a result of the fact that the net electricity production of the farms does not have to be produced by classic means, be that in combination with nuclear facilities or not.

In February 2013 the third Flemish Climate plan was authorised.The avoided emissions of the six wind farms will play an important part in this.

0.5.5 Noise and vibrations

The pile-driving noise can be heard under water for quite a distance with only a little attenuation. But because the impulse noise is not produced continuously and the driving is only a temporary activity, the cumulative effect will not be bigger than the sum of the effects per farm. There is only a small chance that the impulse noise of all parks will happen together.

The noise of dredging can be heard under water for quite a distance (further than the farms) with only a little attenuation. But because dredging is only a temporary activity and will only take place at half the monopile and jacket foundation locations, and in case of gravity based foundations, the cumulative effect will not be bigger than the sum of the effects per wind farm.

During the operational phase the noise under water caused by the turbines will remain restricted to the area between the turbines and will not exceed the 500 m safety zone around the farm and the cumulative effect therefore is equal to the sum of the individual effects.

When the farms are working simultaneously in a moderately taxing situation, there will only be an increased noise level above water in the zones between the farms relative to the individual operating state of each farm and therefore we shall have a cumulative effect bigger than the sum of effects per farm.

0.5.6 Fauna, flora and biodiversity

For the majority of effects on benthos and fish (loss / disruption of biotope, loss of organisms, introduction hard substrate, noise and vibrations), the cumulative effect is the sum of the individual effects per wind farm. Additionally, they usually correspond with the surface area used. The total surface of the six farms (including safety zones) will remain relatively small compared to the BPNS and because the majority of the effects will only occur in a restricted area of the concession zones (gravitational > monopile/jacket), it can generally be decided that the effects will be acceptable. There is still a lot of uncertainty concerning the total cumulative effect of the underwater noise disruption and the electromagnetic radiation as a result of the cables and further research is needed.

As far as the birds are concerned, it is to be expected that the presence of a large number of farms in a relatively small area can cause a slight increase in the death of sea-birds and although there will probably be, relatively speaking, only a small number of collisions, in the

long run it can have an important effect on the numbers of some bird populations (Drewitt and Langston, 2006). The presence of these farms can also cause the loss of habitat for some birds which are susceptible to disruption, mainly during winter, when large numbers of birds come to the BPNS before they migrate to their breeding grounds. The presence of the farms can also cause a loss of foraging areas for some birds susceptible to disruption, or it can cause a barrier effect which would mainly be important for migrating birds. These cumulative effects however, can at the moment, on the basis of the available data not be correctly calculated and further research is necessary

For the sea mammals, it is expected that the majority of the cumulative effects (disruption, noise, physical presence of the farms…) will be the sum of the separate effects. Many aspects however remain gaps in knowledge.

0.5.7 Seasight and cultural heritage

The construction activities of a wind farm can have an effect on the experience of tourists, locals and fishermen. Shipping will increase and the construction works at sea can also influence the seaview. Building periods can happen concurrently and therefore shorten the disruption in length of time but on the other increase the intensity when they do happen. The works can also be seen as a tourist attraction however. Notwithstanding all this is the cumulative effect regarded as slightly negative.

Only the C-Power and Norther turbines will be visible from the coast and during a 2010 Grontmij poll concerning how acceptable the simulated view was of the three then already licensed farms (C-Power, Belwind and Northwind), 78% of the polled people declared the view as acceptable. When shown a simulated view of the worst case scenario with the whole of the concession zone filled with turbines, 62% of the polled people still called it acceptable. Because all the farms will be built in stages, it is possible people will slowly get used to the changing landscape. The cumulative effect is therefore considered acceptable.

Alongside the routes for the cables there are some shipwrecks. If side-scan sonar surveys (or a comparable survey) are executed beforehand along the route in order to avoid these wrecks, then the impact on the maritime cultural heritage can be kept to a minimum. The cumulative effect of laying all the cables for the wind farms on the maritime archaeological heritage is also further reduced by bundling the export cable routes for several projects from the Alpha island of Elia to shore.

0.5.8 Interaction with other human activities

The installing of wind turbines in the whole of the concession zone will of course reduce even more the fishing possibilities in this area. If we reckon that the boats can fish in more or less 85% of the BPNS (Ecolas, 2003), then we can estimate another 7% loss of fishing grounds due to the six wind farms. TheSeaStar farm has only a small part to play in this however, as it is mainly the farms closer to the coast and on the sandbanks which intrude upon more important fishing grounds and therefore have a greater impact on the industry. Dekker *et al.* (2009) have calculated that fencing off the wind farm areas (and also the maritime protected zones) will only have a minimal impact on the amount of fish caught and therefore on the industry. Marine culture also gives the opportunity to partly take over the economic activity of

the fishing industry. It is however possible that by fencing off the neighbouring areas, shipping time will increase.

Apart from the loss of space, the cumulative short and long term effects during the building and operational phases on the fish will play a part for the industry. Possible negative cumulative effects are the pile-driving (monopile, jacket foundations) and the electromagnetic radiation caused by the cables. At the moment there is still a lot of uncertainty concerning the impact of these effects. At the moment these effects are considered medium negative (pile-driving) to slightly negative (electromagnetic radiation), bur further research is required. With the use of mitigating measures, both effects can be considered acceptable.

Fencing off the area for fishing and the shipping industry can have a positive effect on fish population, just like the introduction of hard substrates can result in an increase in fish numbers.

The extensive monitoring within the concession zone will also have a positive influence on the scientific knowledge of the BPNS, whereas the possibility of joint research between the offshore wind industry and the Belgian universities and other scientific organisations offers new opportunities. The cumulative effect on the scientific research is considered to be medium positive.

0.5.9 Risks and safety

It is assumed that the most important cumulative effects for the chapter Risks and Safety will influence the aspects of 'Shipping industry' and 'Radar and ship communication'. We shall therefore only discuss these aspects.

The MARIN (2013) safety study investigated two cumulative scenarios. Scenario 1 includes the SeaStar windmill farm as well as the Norther, Belwind, Northwind, Rentel and C-Power wind farms, whereas scenario 2 also includes the Mermaid concession.

The effect of the operational windmill farms on radar and ship communication is discussed in the Flemtek-IMDC (2013) report (attached as external annex). The most important results concerning the cumulative effects of the windmill farms on radar and ship communication are summarized below.

0.5.9.1 Shipping industry

0.5.9.1.1 Reference situation and autonomous development

The Belgian sector of the North Sea has very intense shipping with the most important route being the east-west one in the direction of the Scheldt (Zeebrugge). As a result of the exclusion of ships in the Belgian wind concession zone, the intensity of shipping will increase around the edges of the concession zone as ships will need to adjust their routes.

Previous studies (Ecolas, 2003; Le Roy *et al.*, 2006, DNV, 2008) all show that it is very difficult to calculate the chance of ships colliding. Numbers change between several a year to less than 0.0005 per year depending on the area taken into account, the type of ship and the type of accident (collision with a ship / platform). A true insight into the real chances of an accident in the BPNS is very difficult to get. It seems to be that it is mainly RoRo (Roll on/Roll off) ships, cargo ships and to a lesser degree also container ships which are involved in a collision between two ships (DNV, 2008).

Concurrent with this, there seems to be a great difference in order to calculate the number of accidents which will give cause to pollution of the environment. The RAMA study (Le Roy *et al.*, 2006) shows that the chance of an accident with dangerous goods entering the environment (environmental pollution) is one every three years and this number is considered to be an exaggeration because of several reasons (a.o. characteristics of the model in combination with the sandbank system). MARIN (2011a) estimated one accident every 31 years and Ecolas (2003) states that one accident approximately every 30 years is considered to be an acceptable risk.

Compare these estimates with reality, and we have seen more or less 30 accidents in the last 40 years with oil, causing a potential danger for the Belgian coast (Ecolas, 2006). The leaked volumes vary between 10,000 tonnes and less than 10. Half of the pollution was caused by crudes while the other half has not been identified. So we have an average spill of more or less 1,500 tonnes for the whole of the polluted area and 500 for the BPNS. This large quantity is mainly caused by the British Trent accident in 1993, with a spill of approximately 5,000 tonnes. An analysis excluding this accident gives a spill of approximately 50 tonnes for the BPNS.

Because of this uncertainty, we need to approach these figures with caution. Because there are obviously no clear conclusions about the risk of accidents and incidents in the southern North Sea, the comparison with the extra risk caused by the project will be difficult to interpret.

0.5.9.1.2 Review and evaluation of the cumulative effects.

The chance of a collision with a turbine by a route bound or a non-route bound ship is relatively low for the SeaStar farm (once every 54 years for the scenario with 62 monopiles and once every 46 when 62 jacket foundations are installed), when compared to the farms at the NW and SE edges of the Belgian wind farm zone. The chance of a collision is about once every 18 years for the Belwind farm and once every 14 year for the Norther concession based on ship traffic data from 2012. Based on 2008 ship traffic data this was once every 11 years for Norther and once every 15 years for Belwind (MARIN, 2011b). The low chance of a collision for the SeaStar area comes from a central position in the complete area reserved for windmill farms and the large distance to important shipping lanes. Ecolas (2003) mentions that the BMM accepts 3 environmentally polluting incidents in a period of 100 years, roughly every 30 years. These incidents are accepted as negative effect of the windfarm construction.

The total collision chance in the SeaStarl wind farm is only 8.9% of the total chance in all farms in the worst case scenario (scenario 1). The total chance of collision in all farms combined is estimated as once every 5 years (MARIN, 2013). Based the ship traffic situation in 2008 this was estimated every 4 years (MARIN, 2011b).

The turbines on the edges of the SeaStar concession have the biggest chance off collision.

The collision chance is mainly determined by the number of turbines, less so by their dimensions. The use of jacket foundations enlarges the chance of collision with a wind turbine in the SeaStar concession with 13% to 16%. The cumulative effect of all the wind farms (the increase in the number of turbines) on the collision chance is at the most equal to the sum of effects of each farm separately. The cumulative effect will probably even be less because when a farm is fenced off and the traffic is diverted, the number of turbines that can be hit, diminishes. The use of bigger and less turbines diminishes the chance of a collision in the

project area, bigger turbines on bigger foundations are favourable against smaller turbines on small foundations.

In the BPNS the amount of ships will practically not increase due to the adjustment of the travel routes according to scenario 1 and 2 in comparison with the base scenario (Belwind, Norther, Northwind, C-Power). The biggest differences are noted for scenario 2: passengerships (+1.16%), bulkers (+0.49%) and unitized ships (+0.59%) (MARIN, 2013). For the ship traffic of 2008 it was an increase of chemical tankers (+0.07%) and oil tankers (+0.13%) due to the rerouting of the ship traffic (MARIN, 2011b).

The number of ships involved in a collision will increase by 0.11% because of the changed traffic situation in scenario 1 and with 0.21% in scenario 2, compared to the base scenario. The chance of a collision does increase exponentially together with the intensity. The cumulative effect caused by the wind farms, creating a higher density in the shipping routes around the Belgian wind farm zone, will therefore be bigger than the sum of each farm separately.

The risks of personal injury during a collision are very small and therefore the criteria for individual and group external risk are easily met.

The chance of bunker oil and oil cargo to be spilled in the BPNS increases as a result of the risk of a collision with a SeaStar wind farm turbine with 3.1% in scenario 1 . In comparison, for the Norther wind farm the augmantations amounts 7.4% (MARIN, 2011b)

These percentages are a ‘worst case’ scenario because the number of tankers with double skin increases, therefore reducing the risk of oil spill after a collision.

Dulière and Legrand studies (2011, in:BMM,2011) show that under heavy weather conditions (winds of 17 m/s) an oil spill can reach the Dutch zone in less than 3 hours and the French coast in approximately 18 hours. The vulnerable Belgian areas (SBZ-V, SBZ-H and the Zwin) can be reached in less than 6 hours whereas De Vlakte van de Raan en Voordelta can be reached within 3 and 6 hours respectively. Zeebrugge will be affected within 6 hours and the rest of the Belgian coast within 12 hours. Parts of the French and Dutch coast bordering the Belgian zone will be reached within 12 hours and zones further away like Duinkerke and The Hague, 24 hours and 24 to 36 hours respectively. In other words, there is not a lot of time to act after a spill

It is mainly the avifauna and possibly also the marine mammals who in the short term will suffer most from any oil spill. The impact of such a spill on the bird population is on the one hand depending on the kind of bird, their density and vulnerability and on the other hand the polluted surface. An oil disaster has immediate victims but can also have negative effects for the bird population and that is a long term effect but it is not always easy to discern the impact of a disaster from the natural fluctuations in a population.

When coming to the above mentioned solutions, it also has to be taken into account though that geographical, physiological, chemical and weather conditions can have an influence on the oil pollution. The cumulative effects of any pollution when several farms are involved, are possibly bigger than the sum of the effects from each farm separately. The increase of turbines with every new farm will make it more difficult to contain any spill because the containment ships will have to move more carefully.

0.5.9.2 Radar and maritime communication

0.5.9.2.1 Impact on observations of the SRK shore-based radar stations

There will be no significant changes in monitoring maritime traffic when realising the offshore wind farm within the defined Belgian concession zone, and this both for Flemish and Dutch SRK radar stations.

It should be noted that the secondary navigation route will change, which is important for the security of maritime traffic on these modified routes.

0.5.9.2.2 Impact on observations of the ship radar

In general there will be no significant change in the operational functioning of the ship radar as the maritime traffic monitoring is concerned, with a complete realisation of all offshore wind farms within the defined Belgian concession area on the BPNS. Most phenomena are already known when a sufficiently large object (in casu another ship) is located near that ship radar. In most cases it even concerns a mast or other object aboard of that ship which causes the erroneous image. Radar operators aboard are therefore sufficiently familiar with these phenomena. Only for maritime traffic monitoring in a wind farm, or for monitoring from a wind farm, it should be noted that dead zones can be caused behind wind turbines. Transparency, however, is sufficiently guaranteed between those turbines.

0.5.9.2.3 Impact on VHF communication and related maritime radio-telephone systems (AIS, RDF)

As the VHF radio stations are concerned, there will be no significant changes on Belgian or Dutch territory in maritime traffic monitoring at a full realisation of all offshore wind parks in the defined concession area on the BPNS. This is also the case for operations of the AIS and RDF system.

Again, the modified secondary navigation routes around the offshore wind farms are important for the security of maritime traffic, resulting in wind farm radio communication between ship and ship to be highly unlikely.

0.5.9.2.4 Conclusion

In general, the realisation and implementation of the single offshore wind farm Rentel will not significantly affect current maritime traffic security and communication. Possible cumulative effects of multiple wind farms within the defined concession area on the BPNS, will first be decided by the effects of the projects of Norther and C-Power in front of and on the Thornton bank, as these areas are still situated in the active area of both the Flemish and Dutch SRK radar stations and the VHF radio stations.

Next, it should be noted that this study only examines the effects of SRK radar security of navigation, radar observation by the ship radar and VHF radio communication (ship/shore and ship/ship). This study does not discuss the security of the wind farm itself (and several other wind farms). In order to do so, appropriate measures need to be taken, especially to adequately monitor maritime traffic around the more offshore part of the defined concession area on the BPNS. This can be done by means of an additional radar installation, on a suitable location and with a possible limited range. Obviously such an additional radar installation will

be able to and will “control” all offshore wind mill parks (Norther, C-Power, Rentel, Northwind and SeaStar, and the Alpha Island of Elia).

0.6 TRANSBOUNDARY EFFECTS

0.6.1 Climate

There are strong indications that immediately behind a wind mill park, wind speeds can decrease by 40%. A distance of 1,400 m (14 rotor diameters) between turbines will lead to a loss of 6% in wind speed behind the park.

If in the future wind turbines would be installed in the nearby located Dutch wind energy area ‘Borssele’, the Belgian wind concession area could potentially disturb the wind in this area significantly. At the moment there is still uncertainty concerning the wind farm plans in the Dutch zone as well as the ‘shadow effects’ and the change in wind climate behind the Belgian wind farms. Further research on the 'shadow effects' of wind mill parks is needed.

0.6.2 Sound and seasight

Thanks to the large distance off the Dutch coast (around 38 km), wind turbines of the SeaStar project will not cause visual or noise pollution.

A specific sound of around 50 dB(A) is expected above water level at the Dutch border.

0.6.3 Fauna and flora

There are two Natura 2000 areas over the Dutch border at 20 km off the SeaStar wind mill park: the "Vlakte van de Raan" and the "Voordelta".

The effect on benthos, fish, birds and sea mammals in Natura 2000 areas is considered acceptable due to the temporary and local type of interruption, the large distance to seal colonies in the Dutch Delta, the elaborate foraging area of seals and birds, and the ample distribution area of porpoises.

0.6.4 Risks and safety

Ship density in the traffic flows around wind farms, also on Dutch territory, will increase. This causes an increased risk of maritime accidents and oil pollution.

By navigating around the Belgian wind farms the economic costs and carbon emission increase in the Netherlands. The total increased travel distance is however very limited.

0.6.5 Conclusion

Looking at the position and distance of the installation off the border, only limited effects can be expected for the Netherlands. Looking at the distance off the Dutch coast, these effects are considered acceptable.

0.7 MONITORING

The monitoring system has to make it possible to notice any changes in the ecosystem as a result of the new wind farms. Considering many wind farms are brought into operation within the judicially outlined farm concession zones, the different monitoring programmes need to be synchronised.

In the different chapters of this EIS several propositions are done for monitoring. They are mainly based on the EIS's written for C-Power, Northwind, Belwind, Rentel and Norther (Ecolas NV, 2003 and 2004; Arcadis, 2007, 2008 and 2011; IMDC, 2012a) and on the environment effect evaluations (EEE) executed by the government for those projects (BMM, 2004, 2006a, 2007, 2009, 2011 and 2012).

0.8 CONCLUSION

THV SeaStar has been granted a domain concession for the construction and exploitation of an offshore wind farm at an offshore distance of around 38 km. The future park is built along the Dutchborder in the channel between the Lodewijkbank and the Blighbank. The jointly installed power for the SeaStar wind mill park will be minimal 246 MWwould not exceed 540 MW. The park will generate an annual return of around 800 GWh to 1,400 GWh, which equals the annual average use of around 286,000 to 400,000 standard families. The realisation of a wind farm will meet the goals of the government of sustainable energy.

For the decision-making on the licence application, the procedure for the environmental impact report with related environmental impact evaluations will be reviewed. This EIR is the base of the licence application and discusses both the construction, the exploitation, the dismantling and the cabling of the SeaStar wind mill park. In this EIR the environmental effects for wind turbines are discussed in a range of 4 MW to 10 MW, and three different foundation alternatives (monopile, jacket, gravity) are examined. Taking this into account, a number of alternatives (configurations + foundation type) for the SeaStar wind farm are selected in deliberation with the board, which are discussed throughout this study. The number of turbines varies according to the chosen alternative: basic configuration (41 MP/JF/GBF * 6 MW); configuration 1 (62 MP/JF/GBF * 4 - 6.5 MW); configuration 2 (54 MP/JF/GBF * 7.5 - 10 MW); configuration 3 (43 JF/GBF * 6.5-7.5 MW). Next, energy is transported through subterranean cables (for the sea route the cables are buried in the seabed) to Zeebrugge or to the Alpha island of Elia Offshore. The wind farm is also provided with necessary monitoring for security and control purposes, as well as the required beacons and marks for air and maritime traffic. The wind farm will be built in two phases and have an exploitation duration of at least 20 years.

During the construction phase the environment will temporarily be interrupted due to construction works. In case of GBF, a large number of dredged sand needs to be stocked in the concession zone. Temporary benthic habitat interruption occurs by stocking the dredged sand and benthic fauna and fish will temporarily be interrupted - an interruption which will also be limited. Due to the activities (navigation, dredging, pile-driving work, crane use,...) there will be a temporary increased sound level below and above water level. The extent of the impact of sound and vibration on maritime life is uncertain. Due to scour protection and turbines there will a minor loss of sand soil as a living environment. The creation of rough subchannels will lead to an increased and changing biodiversity. Species and sea mammals sensible to

disturbance may leave the area temporarily. No further effects for other users in the BPNS are likely to occur.

During the operational phase a few effects also occur. There is potential erosion control at turbine level by priory installing and monitoring scour protection when using a MP or GBF. Chances of water and soil pollution are negligible. During the exploitation of this wind farm up to almost 7.5% of greenhouse gas emissions is avoided compared to traditional plants (significantly positive effect). The windmill park will hardly be noticeable from several coastal towns, as it is located behind the parks of Norther, C-Power, Rentel and Northwind. By the functioning of turbines it is also expected that underwater sound will increase in the direct environment of the turbines. There will also be an increased sound level above water, which can be heard to a max. distance of 5 km. There will be (hardly) no impact on most of the fauna-species. Birds which are sensible to disturbance and collisions can experience an insignificant to moderate negative effect (collision, disturbance) during the operational phase. Further radar examination is needed to confirm these preliminary estimates. Presence and behaviour of sea mammals can be influenced both positively and negatively by vibrations, sound, maintenance works and changes in food sources. An implicit positive effect (increased catch of fish) is expected on traditional fisheries in the close environment, by closing the wind farm area for beam trawling.

In general it can be stated that the impact of the dismantling phase will be similar to those of the construction phase, but that the intensity of prevention will be much lower. Sound disturbance will keep on occurring, although it will be limited to sounds produced by navigation involved and the dismantling activities (cutting off turbines up to 2 m below the seabed, removing foundations). The significant sound pollution due to pile-driving work (MP/JF) during the construction phase will no longer be present during the dismantling phase. The loss of biotope and related loss of organisms will be limited to the surfaces which are actually disturbed by the dismantling phase. Effects vary from (hardly) any effect to an insignificant negative effect, depending on the alternative considered.

The main influence of cabling is the local disturbance of the soil and its organisms. This influence will be limited to the direct environment around the cable track and will disappear over time (insignificant negative effect). The influence of electromagnetic radiation and the local warming of the seabed (by heat development in the electric cables) on benthos, fish and sea mammals during the exploitation of the wind mill park is uncertain, but is limited to the direct environment.

For the cumulative effects (joint effects of the six wind mill parks) only those effects are discussed which cannot be neglected for a single wind mill park. For these unnegligible effects the cumulative effect will usually be equal to or be less than the sum of the individual effects. Should be opted for a GBF at the SeaStar, Rentel and Norther wind mill park (other wind mill parks opt for MP and/or JF), a total of almost 12.6 million m³ sand will be stocked for the five wind mill parks, in the respective concession zones due to necessary excavation works. The prevented emissions of each wind mill park as such contribute greatly to the planned Belgian reduction objectives for sulphur dioxide, nitrogen oxide and carbon dioxide. Obviously, the cumulative contribution is even bigger and equals the sum of the individual contributions. During exploitation the underwater sound of the wind turbines is limited to the safety zone. The cumulative effect therefore equals the sum of the individual effects. For most effects on benthos and fish it is said that the cumulative effect is the sum of each separate effect - often directly proportional to the assumption of space which in total remains rather small towards the

BPNS - for each wind mill park. For birds and sea mammals the cumulative effect is also the sum of the separate effects. There will only be a cumulative effect which is bigger than the sum of the effects for each wind mill park for the assumption of habitat for resting and foraging birds by the radiating operation of each wind farm. Here, the cumulative effect on the disturbance of the razorbill, guillemot and gannet is considered moderately negative. No significant negative cumulative effects are expected for the several North Sea users. The chance of collision with wind turbines is rather low for the SeaStar wind farm (once every 54 years), compared to the farms at the NW and SE ends of the Belgian wind mill area (once every 18 years for Belwind and once every 14 years for Norther based on data of 2012). The total chance of collision of all farms together is estimated as once every 5 years. No significant negative influence is expected by the presence and exploitation of wind farms to the security of and communication with maritime traffic.

Looking at the position and distance of the installation off the border, only limited transboundary effects can be expected for the Netherlands. Looking at the distance off the Dutch coast, these effects are considered acceptable.

0. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

0.1 AVANT-PROPOS

Selon la législation belge, un permis est requis pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien. En tant qu'élément nécessaire dans le cadre d'une demande de permis ou d'une reconduction d'un permis, un rapport d'incidences environnementales (RIE) des activités prévues doit être effectué.

Ce rapport est le RIE que l'initiateur utilisera en tant qu'élément faisant partie de la future demande de concession et celle en cours. Ce RIE traitera aussi bien des incidences environnementales lors de la construction, de l'exploitation et du démantèlement des éoliennes que des incidences environnementales relatives à la pose du câble et à l'éventuelle évacuation du câble.

Ce RIE est composé de deux parties : un résumé non technique (en néerlandais, anglais et en français) et une description exhaustive du projet proposé et des possibles incidences. Les annexes sont consultables à la fin du rapport.

Le résumé non technique peut être lu séparément par le lecteur intéressé qui est moins enclin à parcourir toutes les données techniques et les descriptions décrites de manière exhaustive dans les chapitres et les annexes du RIE.

Les aspects suivants sont abordés dans la description exhaustive :

Chapitre 1 :

- Détaille la vérification de l'obligation de RIE, de l'initiateur du projet, du coordinateur du RIE et de la composition de l'équipe d'experts.

Chapitre 2 :

- Donne une description technique de la technologie. Les différentes actions au niveau du projet sont décrites par phase du projet (construction, exploitation, démantèlement).

Chapitre 3 :

- Décrit les conditions annexes juridiques et politiques.

Chapitre 4 :

- Détaille les alternatives de configuration et d'exécution.

Chapitre 5 :

- Décrit par discipline la méthode utilisée, décrit la situation de référence et le développement autonome, décrit et évalue les incidences environnementales lors de chaque phase, les lacunes en matière de connaissances, décrit les mesures atténuantes et quel contrôle des incidences est prévu. Au sein de la discipline 'Faune, flore et biodiversité', une évaluation adéquate est également effectuée dans le cadre de la pose du câble d'exportation puisque celle-ci peut avoir des conséquences pour la Zone de protection spéciale désignée de Zeebrugge.

Chapitre 6 :

- Décrit les possibles effets cumulatifs dans le cadre de la présence de parcs déjà autorisés (C-Power, Belwind, Northwind et Norther) en combinaison avec le parc éolien Rentel.

Chapitre 7 :

- Décrit les incidences transfrontalières attendues dans le cadre du traité Espoo.

Chapitre 8 :

- Fournit une synthèse finale des incidences environnementales et des mesures atténuantes proposées par discipline et par phase.

Chapitre 9 :

- Reprend la liste des ouvrages consultés

Les annexes à la fin de ce rapport :

- Annexe A : La procédure de permis environnemental et une lettre de confirmation des propriétaires de câbles Rioja
- Annexe B : Les coordonnées de la concession de domaine obtenue
- Annexe C : La situation géographique et le plan de la zone de concession élargie
- Annexe D : Emplacement des trajets de câble alternatifs et explications quant aux projets STEVIN et quant au réseau de haute tension d'ELIA
- Annexe E : Emplacement des zones marines protégées
- Annexe F : Brochures des différents exemples typiques d'éoliennes
- Annexe G : Agrandissement de photos venant de la partie Vue sur la mer et Patrimoine culturel

Pour finir, un certain nombre d'études partielles ont été effectuées dans le cadre de ce RIE qui sont jointes comme des annexes séparées (annexes externes). Au sein de ces études partielles, l'on aborde de manière approfondie certains aspects partiels du RIE. Les principales conclusions sont toujours traitées dans le présent RIE.

Annexes externes :

- IMDC (2012b). Environmental Impact Report windmill farm Rentel. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11397/12.072/LWA.
- IMDC (2012c). Environmental Impact Report windmill farm Rentel. Numeric modelling of dredging plume dispersion. I/RA/11397/12.114/VBA.
- Flemtek-IMDC (2012). Etude concernant la possible influence du parc éolien "Rentel" quant aux installations de radar SRK, au radar de bateau et quant à la communication mariphone. A la demande de Rentel NV, en collaboration avec IMDC.
- MARIN (2013). Étude de sécurité nautique pour parc éolien offshore 'Seastar'. Nr. 25095-1-MSCN-rév.2

0.2 OBJECTIF ET ACTIVITÉ PRÉVUE

THV SeaStar s'est vu confié une concession de domaine pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien à environ 38 km de la côte. Le parc prévu sera construit le long de la frontière avec les Pays-Bas, dans une zone située au nord-ouest du Lodewijkbank (concession de domaine Northwind) et au sud-est du Blighbank (concession de domaine Belwind). Le rendement annuel s'élèvera environ à 800 GWh à 1.400 GWh, ce qui correspond à une consommation annuelle moyenne d'environ 286.000 à 400.000 ménages moyens. Avant de pouvoir commencer la construction, un permis environnemental et un permis de pose de câbles doivent être demandés. Dans le cadre de la prise de décision concernant la demande de permis, la procédure concernant les rapports d'incidences environnementales avec l'évaluation des incidences environnementales s'y rattachant doit être parcourue.

Un rapport d'incidences environnementales (RIE) doit être rédigé afin d'octroyer une place à part entière aux intérêts environnementaux lors de l'attribution de permis. Ce RIE est utilisé afin d'étayer la demande de permis et aborde aussi bien la construction, l'exploitation, le démantèlement que la pose des câbles du parc éolien SeaStar.

L'initiateur ne peut à l'heure actuelle pas encore se prononcer quant au choix définitif en matière de fondation ou de turbine. En pratique, l'on ne fait un choix définitif qu'après une analyse du marché exhaustive et une procédure d'adjudication. Les références, les moyens financiers de différents fabricants, l'analyse économique, la 'proven technology' et bien d'autres facteurs jouent un rôle crucial. C'est pourquoi le RIE s'appuie sur une configuration de base et sur trois alternatives de configuration comprenant toute la gamme de possibilités d'installation. De cette façon, l'on tient compte en ce qui concerne la méthodique et les analyses au sein du RIE du principe d'une approche worst-case. Les dimensions et les spécifications de la turbine et des types de fondation finalement choisis doivent équivaloir ou être inférieures aux types décrits au sein du RIE.

Dans le RIE, les alternatives de configuration suivantes pour le parc éolien SeaStar sont abordées :

Configuration	# Turbines	Diamètre du rotor	Capacité individuelle	Capacité totale installée	Type de fondation	Protection contre les affouillements
Configuration de base	41	126 m	6 MW	246 MW	Monopylône	Oui: Statique/ dynamique
					Jacket	optionnel
					GBF	oui
					Seau d'aspiration	Comme MP et JF
Configuration 1	62	120-135 m 135 m	4-6,5 MW 5 MW	248-403 MW 310 MW	Monopylône	Oui: Statique/ dynamique
					Jacket	optionnel
					GBF	oui
					Seau d'aspiration	Comme MP et JF
Configuration 2	54	150-165 m 164 m	7,5-10 MW 8 MW	405-540 MW 432 MW	Monopylône	Oui: Statique/ dynamique
					Jacket	optionnel

Configuration	# Turbines	Diamètre du rotor	Capacité individuelle	Capacité totale installée	Type de fondation	Protection contre les affouillements
					GBF	oui
					Seau d'aspiration	Comme MP et JF
Configuration 3	43	140-175 m 171 m	6,5-7,5 MW 7 MW	280-323 MW 301 MW	Jacket	optionnel
					GBF	oui
					Seau d'aspiration	Comme MP et JF

De cette façon, l'option avec le nombre de fondations le plus grand possible sera discutée (configuration 1), l'option avec la puissance installée maximale individuelle et totale (configuration 2) et l'option avec le diamètre de rotor maximal (configuration 3).

En résumé, la gamme de puissance de 4 à 10 MW par turbine (avec une puissance installée totale entre 246 et 540 MW) sera prise en compte pour l'agencement du parc. L'Areva (5 MW), le REpower 6M (6,15 MW) , le Vestas V164 (8 MW) et le Samsung (7 MW) seront élaborés dans le RIE comme des exemples typiques (en utilisant leurs données techniques disponibles).

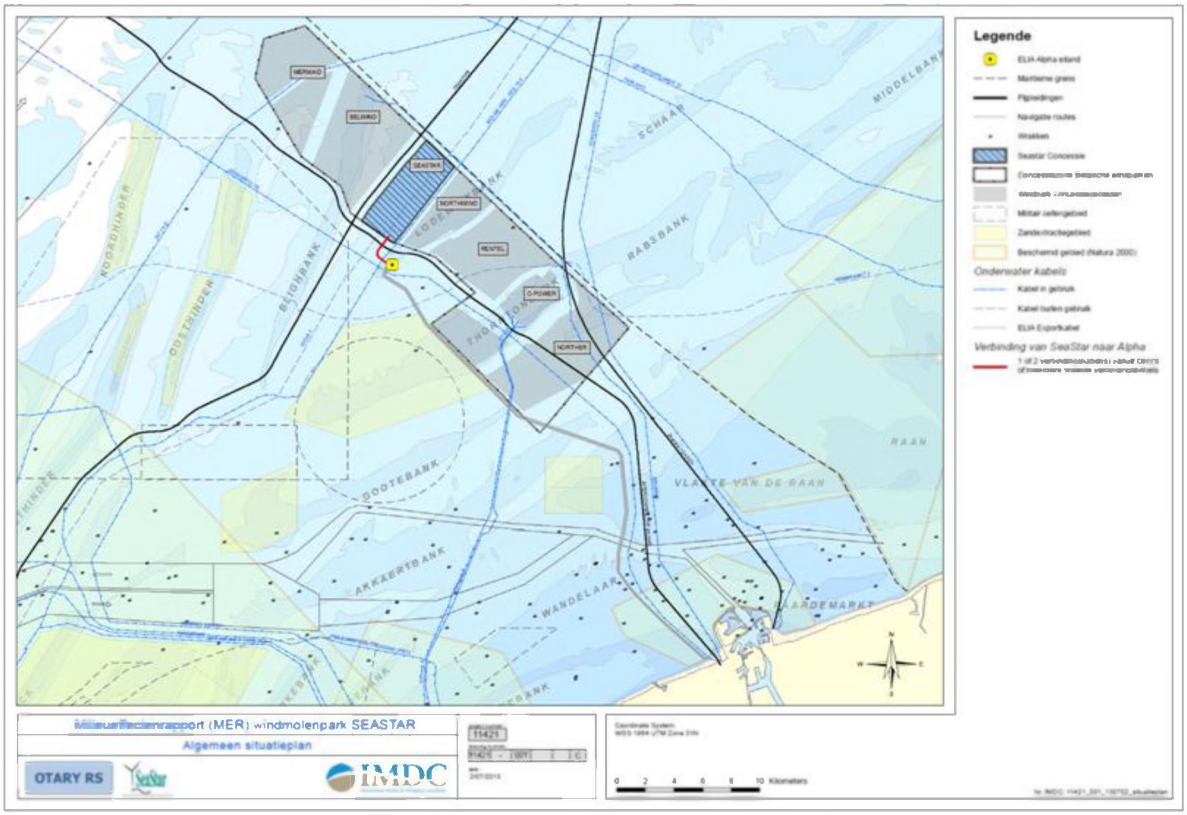
Pour finir, les incidences cumulatives du parc éolien SeaStar seront abordées avec les cinq projets d'énergie éolienne déjà autorisés pour l'instant dans la mer du Nord belge (C-Power, Northwind, Belwind, Norther et Rentel).

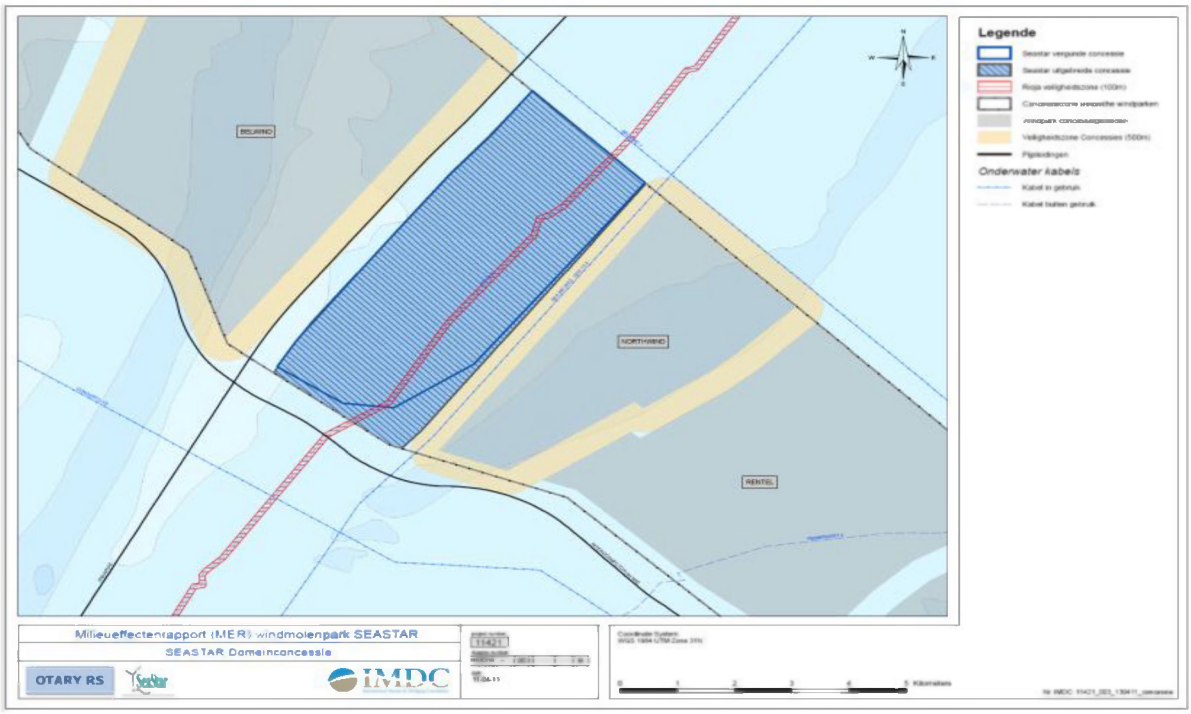
0.3 DESCRIPTION DU PROJET

Le 1er juin 2012, le Service Public Fédéral Economie, PME, Classes moyennes et Energie a octroyé une concession de domaine à la SCM THVSeaStar pour la construction et l'exploitation d'installations dans le cadre de la production d'électricité à partir du vent dans la zone entre le Lodewijkbank et le Blijghbank (MB 01/06/2012 (EB-2010-0016-B) "attribution de la concession de domaine à la SCM THV SeaStar").

La gamme de puissance va de 4 à 10MW par turbine, avec une puissance installée totale de max. 540 MW. L'énergie électrique extraite est transférée par le biais de câbles à haute tension se trouvant au fond de la mer vers un poste à haute tension situé sur la futur Prise de Courant en Mer (« Stopcontact op Zee », île Alpha d'Elia) ou bien directement vers la côte (Zeebrugge).

La construction du parc éolien SeaStar est prévue durant la période 2016-2018.


Legende
Onderwater kabels
Verbinding van SeaStar naar Alpha
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
Algemeen situatieplan
OTARY RS
IMDC


Legende
Onderwater kabels
Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark SEASTAR
SEASTAR Domeinconcessie
OTARY RS
IMDC

Dans le tableau ci-dessous, les principales remarques du projet de conception sont représentées.

Sujet	Description
Lieu	
Situation géographique	Situé à 38 km de la côte; Situé entre le Lodewijkbank (concession de domaine Northwind) et le Blijghbank (concession de domaineBelwind) le long de la frontière avec les Pays-Bas; Le territoire du projet se trouve dans la zone délimitée pour l'implantation de parcs éoliens offshore fixée par l'AR du 20 décembre 2000, modifié par l'AR du 3 février 2011.
Superficie territoire de concession	La superficie totale est d'environ 18,4 km² avec une extension éventuelle allant jusqu'à 20,3 km²
Aménagement du parc	Implantation : configuration de base et trois configurations alternatives, voir Annex C ; Profondeur du fond marin à hauteur du territoire de concession: -22 jusqu'à -38 m TAW; Distances à respecter jusqu'aux conduits de gaz Interconnector et Franpipe (500 m), jusqu'au câble de télécommunication SEAME WE3 seg. 10.4 (250 m) et jusqu'au câble de télécommunication inactif Rioja (50 m si non enlevé), et la zone tampon devant être respectée de 500 m pour les parcs éoliens limitrophes.
Éoliennes	
Implantation	Configuration de base et trois configurations alternatives voir Annex C ;
Type – Puissance – Diamètre du rotor	Environ. 4 à 10 MW par turbine; différentes turbines sont prises en considération. L'on utilise des exemples type pour les différentes configurations : Configuration de base : diamètre du rotor 126 m, puissance individuelle de 6 MW, équivalant à une puissance installée totale d'environ 246 MW. Exemple type Turbine REpower 6M; Configuration 1 : diamètre du rotor 120-135 m, puissance individuelle de 4-6, 5 MW, équivalant à une puissance installée totale d'environ 310 MW Exemple type Turbine Areva 5 MW; Configuration 2 : diamètre du rotor 150-165 m, puissance individuelle de 7,5-10 MW, équivalant à une puissance installée totale d'environ 432 MW. Exemple type Turbine Vestas V164 8 MW; Configuration 3 : diamètre du rotor 140-175 m, puissance individuelle de 6,5-7,5 MW, équivalant à une puissance installée totale d'environ 301 MW. Exemple type Turbine Samsung 7 MW.
Nombre	Configuration de base : 41 turbines ; Configuration 1 : 62 turbines ; Configuration 2 : 54 turbines ; Configuration 3 : 43 turbines.
Production	Environ 800 à 1.400 GWh/an
Fondation éoliennes	
Ou bien des monopylônes	Le monopylône est un poteau tubulaire en acier qui est enfoncé et/ou creusé dans le sol ou par le biais de la technique de suction bucket. La profondeur à laquelle il faut enfoncer afin d'obtenir une fondation stable dépend du profil du sol. Autour du poteau, une protection d'érosion sera fixée pouvant être aussi bien statique que dynamique. Le type de fondation peut être utilisé dans le cadre de la configuration de base et des configurations 1 et 2.
Ou bien une fondation de type jacket	La fondation de type jacket est constituée d'un poteau à treillis, composé de tubes en acier avec quatre points de soutien. Les poteaux sont ou bien enfoncés ou bien fixés grâce à la technique de suction bucket. SeaStar prévoit un nivellement sur au plus 50% des emplacements et une protection anti-affouillement dynamique autour des 50% restants. Ce type de fondation peut être utilisé dans le cadre de la configuration de base et des configurations 1, 2 et 3.
Ou bien gravitaire	Une fondation gravitaire est composée d'un bloc en béton massif qui converge vers une section plus étroite sur laquelle une éolienne est montée. La fondation est préfabriquée à terre et est descendue à partir d'un bateau ou d'un of ponton sur le fond marin préalablement aplani. Une protection contre l'érosion est placée autour de la fondation. Ce type de fondation peut être utilisé dans le cadre de la configuration de base et des

Sujet	Description
	configurations 1, 2 et 3.
Mât de mesure éolien	
Nombre	En principe non prévu dans le parc SeaStar
Fondation stations de haute tension	
Type	Similaire à la fondation des turbines.
Infrastructure électrique	
Câbles de parc au sein du parc éolien et câbles de connection directs à l'île Alpha	Les éoliennes sont reliées en groupes (4-5 rangées) de chaque fois environ 30 MW ou 60 MW à un câble de parc de 33 ou 66 kV et connectées à un SHTO (scénario 1, option B) ou directement à la plateforme alpha de ELIA en dehors de la zone de concession (scénario 1, option A); Tracés du câble scénario 1, option A: voir Annex D ; Profondeur de pose des câbles : env. 1 m dans le fond marin.
Station de haute tension offshore (SHTO)	Nombre : max. 1 (scénario 1, option B et scénario 2), en fonction du câblage inter-grilles et de la connexion avec la plate-forme Alpha proche Transformateurs Step-up 33 kV → 150-220 kV ou 66 kV → 150-220 kV
Câbles vers la terre	Scénario 1, option B et scénario 2 : câble sous-marin 3-phase de 150 kV ou 220 kV, en fonction de la capacité installée 2 x 150 kV ou 1-2 x 220 kV. Tracé du câble scénario 1, option B et scénario 2 : voir Annexe D ; Le câblage se fera selon les consignes fixées par le gouvernement flamand (département Mobilité et Travaux publics, Politique des Ports et de l'Eau) et d'autres autorités compétentes; Point de connexion sur la côte (scénario 2) : la future nouvelle centrale électrique STEVIN à Zeebrugge ou via un câble d'exportation court sur l'alpha plate-forme offshore ELIA Point de connexion scénario 1, option B : l'île Alpha d'Elia (Grille Offshore Belge) sur le Lodewijkbank.
Exploitation	
Commande et surveillance parc éolien	SCADA-system (Supervisory, Control And Data Aquisition) à partir d'un centre de contrôle à terre.
Fréquence entretien planifié	Les premières années plusieurs fois par mois, plus tard 1 fois par an, sans l'entretien et les réparations non planifiés
Logistique – accès au parc éolien	Accès à l'aide de bateaux d'entretien ou accès à l'aide d'hélicoptères

0.4 EVALUATION DES INCIDENCES

Dans ce chapitre, les principaux résultats de l'évaluation des incidences seront résumés par discipline, à chaque fois pour la phase de construction, des opérations et de démantèlement du projet, tout comme le câblage. En outre, il est indiqué quelles sont les mesures atténuantes possibles.

Les incidences environnementales associées ont été identifiées et évaluées sur base de la description de projet, des ouvrages disponibles et en concertation avec les parties intéressées. Afin de déterminer la pertinence d'un impact, l'on a tenu compte de l'ordre de grandeur, de l'importance ou de la portée et de la durée (permanente ou temporaire). Les incidences décrites sont représentées sous forme d'une évaluation relative de plus ou moins (*Tabel 0-1*). Les incidences positives indiquent une augmentation, un soutien ou un renforcement de la caractéristique (naturelle ou souhaitée) de l'environnement, une évaluation négative indique la disparition, la baisse ou une détérioration d'une certaine caractéristique (naturelle ou souhaitée).

Tableau 0-1 Définitions utilisées pour la description et l'évaluation des incidences environnementales

Symbole	Niveau de l'effet	Description	Evaluation environnement/organismes
++	Positif de manière significative	Amélioration positive mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à grande échelle (PBMN). De caractère temporaire ou permanent	Très positif
+	Moyennement positif	Amélioration positive mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à échelle restreinte (zone de projet). De caractère temporaire ou permanent	Positif
0/+	Peu positif	Amélioration positive mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à échelle limitée (zone de projet). De caractère temporaire	Neutre
0	Aucun	Effet non mesurable ou non pertinent.	Aucun
0/-	Peu négatif	Amélioration négative mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à échelle limitée (zone de projet). De caractère temporaire	Négligeable
-	Moyennement négatif	Amélioration négative mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à grande échelle (PBMN). Caractère temporaire ou permanent	Acceptable
--	Négatif de manière significative	Amélioration négative mesurable au niveau de la qualité des conditions environnementales à échelle restreinte (zone de projet). De caractère temporaire ou permanent	Inacceptable

0.4.1 Fond et eau

0.4.1.1 Situation de référence et développement autonome

0.4.1.1.1 Fond

La PBMN s'étend sur une zone d'environ 3.500 km². La topographie du fond de la PBMN est composée d'un complexe de bancs de sables et de canaux . Les canaux en question ont une profondeur maximale de 30 à 40 m sous LAT. Les bancs de sable au niveau de la PBMN sont traditionnellement repartis en Hinderbanken, Vlaamse Banken, Kustbanken et Zeeland banken.

La zone de concession SeaStar se trouve dans le chenal de marée entre le Lodewijkbank, qui fait partie des Zeelandbanken, et leBlighbank, qui fait partie desHinderbanken. Les profondeurs des eaux varient entre environ 22 m et 38 m sous TAW. Les Zeelandbanken sont approximativement orientés SO-NE, les Hinderbanken ont plutôt une orientation SSO-NNE. L'on retrouve essentiellement du sable à la surface.

Au sein du domaine de concession SeaStar, une campagne sismique d'exploration a déjà été effectuée par G-tec (2013). Au niveau des profils sismiques, l'on constate une inclinaison des couches tertiaires vers le NE. La couche supérieure du Tertiaire est une surface érosive qui forme la discordance entre les couches tertiaires inférieures et le Quaternaire qui recouvre le Tertiaire. Le paquet Cénozoïque couvert est essentiellement constitué d'une variation de couches sableuses et argileuses. Dans le domaine de concession SeaStar, on trouve sous le Quaternaire directement la Formation de Maldegem. La séquence complète de cette formation est présente dans le domaine de concession, avec le Lid van Onderdijke constitué d'argile gris-bleutée comme couche Tertiaire supérieure.

La couche supérieure du lit marin avec par-dessus les bancs sableux a été déposée durant le Quaternaire. Les dépôts quaternaires sur le PBMN étant très fins et fragmentés, les couches sous-jacentes plus anciennes peuvent être en surface du lit marin dans les chenaux entre les bancs sableux. Le domaine de concession SeaStar est cependant situé au niveau d'une ancienne bifurcation de rivière de la Meuse, où le Quaternaire est localement plus épais. Sous le Quaternaire se situe le Tertiaire, dont la couche supérieure est une surface érosive qui forme une discordance entre les couches tertiaires inférieures et les dépositions quaternaires supérieures. Les couches Tertiaires sont clairement délimitées et incisées par une paléovallée de la Meuse au niveau de la concession SeaStar.

Au NE du domaine du projet, la couverture Quaternaire est en général plus épaisse que dans les parties centrale et ouest. Les incisions sont probablement liées à des chenaux estuariens de marée. Il ressort d'une analyse détaillée des Hinderbanken que l'incision de la vallée de la Meuse est remplie de dépôts estuariens datés de l'époque Eem (Pleistocène). Il est possible qu'on les retrouve dans le domaine SeaStar.Lors de l'Holocène, il y a environ 7000 ans, la formation des bancs de marées et des canaux intermédiaires a été initiée, y compris le Lodewijkbank et le Blighbank. Le matériel dont les bancs de marée sont constitués, venait de l'érosion locale formant les canaux. De plus anciennes sédimentations quaternaires ne surviennent que sous les bancs de marée où elles ont été protégées ou dans des indentations de rivière plus anciennes (Mathys *et al.*, 2009).

Les bancs de sable sont des bancs de marée engendrés par l'interaction du sable et des courants de marée SO-NE. Un processus fondamental permettant aux bancs de sable d'exister est la présence de canaux séparés de flot et de jusant des deux côtés du banc. Ceci occasionne un mouvement du sable circulaire au-dessus et autour du banc maintenant la stabilité du banc. Les Zeelandbanken et les Hinderbanken disposent d'un flanc oriental en pente. La vitesse du courant maximale le long des Zeelandbanken est orientée en direction du flot (NE) (Lanckneus *et al.*, 2001). Ceci indiquerait un mouvement circulaire du sable autour des Zeelandbanken dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, contrairement au reste de la PBMN. Le long des Hinderbanken la vitesse maximale du courant est orientée en direction du jusant (SO), ceci pourrait indiquer un mouvement du sable dans le sens des aiguilles d'une montre. Le domaine de concession SeaStar est situé à la transition de ces deux zones.

Les dunes de sable constituent un phénomène important au-dessus des bancs de sable et dans les canaux intermédiaires. Les dunes sont beaucoup plus petites que les bancs de sable – quelques mètres de hauteur – mais sont plus dynamiques et très présentes au sein de la PBMN. Dans le domaine de concession SeaStar, on trouve des dunes de 2 à 4 m de hauteur. Dans une petite zone le long de la frontière NO du domaine, on trouve des dunes plus élevées allant de 4 à 6 m. Ces dunes sont aussi bien dominées par le flot, le jusant que symmétriques. La distance entre deux crêtes successives varie entre 100 et 500 m.

Au niveau du fond marin, l'on constate surtout du sable ayant un diamètre médian de 300-350 µm. Dans une zone plus restreinte, l'on retrouve également du sable un peu plus fin de D50 250-300 µm et du sable un peu plus grossier de D50 (350-400 µm). Au sein de la zone de projet aucun gravier n'a été constaté (Van Lancker et al., 2007).

Les hauteurs des vagues dépendent fortement des différences morphologiques du fond au niveau de la partie belge de la mer du Nord (PBMN). Une analyse de mesures de 18 ans au niveau du Westhinder (1990-2008) indique une direction de vague dominante vers le SO et l'OSO. Des hauteurs de vague significatives de moins de 1,0 m 50% du temps et de plus de

2,0 m environ 10% du temps, et une moyenne d'environ 90 cm. Le pic des périodes de vague se trouve entre 3 et 8 s 90% du temps, avec une moyenne de 5,5 s. En règle générale, le vent et les vagues se trouvent sur la même ligne. L'on s'attend au même climat de vague dans la zone de projet SeaStar (IMDC, 2013a).

Afin d'avoir une bonne idée des vitesses de courant local naturel et des transports de sédimentation au sein de la zone de projet SeaStar, une modélisation numérique a été mise en place. Les détails concernant l'objectif de ce modèle sont mentionnés dans le rapport IMDC (2013b), joint à l'annexe G. Des simulations ont été effectuées dans deux situations : une situation estivale, où seul le courant de marée joue un rôle et une situation hivernale prêtant attention aux vagues. Les plus grandes vitesses moyennes ont été mesurées au niveau des parties supérieures du Lodewijkbank et du Blighbank. A hauteur du champ de dunes de sable dans les parties NO et SO du domaine SeaStar, il y a également des vitesses de courantélevées. Par conditions estivales, des vitesses de courant locales maximales de 1,09 m/s ont été modélisées dans la zone entre les bancs sableux durant un cycle de vives-eaux et de mortes-eaux. Par conditions hivernales la vitesse maximale modélisée est de 1,11 m/s.

La parte NE du domaine SeaStar se caractérise par un transport sédimentaire résiduel orienté selon le flot. Le long de la frontière est du domaine de concession, les dunes ont clairement une asymmétrie de jusant. Ceci est contraire au transport sédimentaire dans cette zone, mais les valeurs du transport sédimentaire net sont faibles et ce transport n'est pas clairement orienté vers le flot.

0.4.1.1.2 Eau

L'on a constaté des valeurs de température entre 1 °C et 20 °C (BMM, 2010). La température moyenne de l'eau au niveau de la PBMN est d'environ 11 °C. Il y a donc des variations saisonnières avec un ordre de grandeur de 8 à 9 °C par rapport à la température moyenne.

La salinité au sein de la PBMN est en moyenne de 31-35 g/kg. Il y a une légère variation saisonnière grâce à l'influence de l'apport de la rivière (Ospar, 2000a). La salinité à la surface de l'eau est plus élevée et plus constante (32 ppt) qu'au fond de la mer (25 jusqu'à 31 ppt).

L'on peut supposer que pour la zone du projet les concentrations naturelles en matière de métaux seront relativement basses. La principale combinaison d'organotine est le tributylétain (TBT). Il s'agit d'un biocide utilisé dans les milieux aquatiques comme "antifouling". La concentration de tributylétain offshore est de <1 ng/l. Le mazout de soute et l'huile de moteur sont les principales sources de pollution à l'huile de la mer du Nord. Le déversement d'huile venant du forage pour le compte de l'industrie du gaz et du pétrole offshore a fortement été réduit ces dix dernières années (jusqu'à plus de 80 %). L'influence de l'homme sur l'équilibre des éléments nutritifs est surtout visible au niveau de la zone côtière et est moins détectable au niveau de la zone du projet.

Des informations spécifiques pour le projet n'a pas été trouvé, mais le suivi des campagnes de proximité Thornton Bank et Bligh, afficher les valeurs du fond naturel de 4 mg/l au cours de l'été et l'hiver.

0.4.1.1.3 Développement autonome

Le changement de climat engendrera des modifications au niveau des caractéristiques du courant au sein de la PBMN (Van den Eynde et al., 2009) et au niveau des caractéristiques

chimiques de l'eau de mer. Même au niveau du délai de la période d'exploitation, des changements seront déjà perceptibles. L'on s'attend par exemple à une hausse générale du niveau de la mer suite à l'effet de serre de maximum 1 m durant la période 1990-2100 (Reid *et al.*, 2011).

Une augmentation des tempêtes extrêmes aurait certainement une influence sur la dynamique des sédiments, voyant que le transport des sédiments en général se déroule dans des conditions hydrauliques extrêmes. Toutefois, les analyses menées par Van den Eynde et al. (2012) montrent aucune augmentation significative de l'occurrence des vitesses de vent extrêmes. Également une augmentation de la hauteur des vagues, le nombre de tempêtes et l'intensité de la tempête est encore incertaine pour les eaux côtières belges.

L'on peut également s'attendre à ce que l'influence anthropogène au niveau de la qualité de l'eau dans l'environnement marin diminuera. Les concentrations en matière de TBT, de métaux lourds, d'apport d'éléments nutritifs via la rivière, etc. devraient par exemple baisser dans le futur.

0.4.1.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.1.2.1 Effets sur le fond

Phase de construction

En utilisant des fondations de type monopylône ou de type jacket, un nivellement du fond marin sera nécessaire pour la moitié des fondations – quelle que soit la configuration. Le sable dragué (13.300 m³/MP et 11.200 m³/JF) est dès lors stocké de manière permanente dans la zone de concession. En ce qui concerne les monopylônes, une protection anti-érosion sera ultérieurement installée. Pour des fondations jacket, aucune protection anti-érosion n'est prévue aux emplacements qui ont été nivellés. De telles protections sont cependant prévues sur les 50% des emplacements restants où la couverture Quaternaire est plus fine (protection anti-érosion dynamique).

En installant des fondations gravitaires, un puits de fondation sera d'abord dragué (63.000 m³/GBF). Après la pose d'une couche de fondation, la fondation gravitaire est placée et le puits de fondation est ensuite rempli (backfill) à l'aide du matériel stocké provisoirement, après quoi la fondation gravitaire sera remplie de ballast. Si cela est possible, cela se fait aussi avec du matériel stocké préalablement. Ensuite une protection anti-érosion sera installée.

Lors du stockage, environ 30% du sable disparaîtra à cause des pertes de dragage et de déversement. Lors du remplissage des puits de fondation et de la fondation gravitaire à l'aide du matériel stocké, du matériel disparaîtra à nouveau. Si la couche de couverture quaternaire est plus fine que 7,5 m, et que les couches tertiaires plus résistantes ont été atteintes plus tôt, il est possible d'excaver le puits de fondation moins profondément. Ce qui fait que moins de sable doit être dragué et stocké. Les couches tertiaires sont composées d'argile ou de sables argileux pouvant engendrer un transport de sédiments accru et une turbidité plus élevée dans la colonne d'eau. Ces couches sont en revanche compactées, l'influence sera donc assez restreinte.

Le surplus de sable libéré lors du nivellement des emplacements des fondations de type monopylône et jacket et lors du dragage des puits de fondation dans le cadre de fondations gravitaires, doit être stocké à un endroit permettant de modifier le moins possible la morphodynamique de la zone. Il est préférable que la hauteur maximale du stockage corresponde au même ordre de grandeur des dunes de sable naturelles au sein de la zone, et

sur une surface aussi restreinte que possible afin de perturber le moins possible la surface du benthos (BMM, 2006a; BMM, 2007). En optant pour une hauteur de stockage de 5 m, les deux conditions sont remplies. En ce qui concerne le monopylône, le sable déversé de manière permanente, tout en tenant compte des pertes de dragage et de déversement, prend environ 5,6 ha (conf. 1) lorsqu'il est stocké avec une épaisseur de 5 m.

Pour les fondations jacket le sable déversé de manière permanente prend jusqu'à 7,2 ha (conf. 1) lorsqu'il est stocké avec une épaisseur de 5 m. Pour les fondations gravitaires, la superficie temporairement utilisée varie de 53 à 79,4 ha et les modifications morphologiques sont considérées comme étant moyennement négatives.

Il vaut mieux choisir un lieu de déversement se trouvant le plus près possible des éoliennes devant être installées et au SO des éoliennes. De cette façon le sable stocké aura la possibilité par le biais des courants de marée dominants en direction du NE de se répartir sur la zone de concession avant d'être transporté. L'option de stocker par turbine – malgré une superficie relativement supérieure – est d'un point de vue morphologique (répartition plus rapide à partir de petits monticules de sable) tout comme d'un point de vue opérationnel et technique (distance courte entre le lieu de dragage et le lieu de dépôt) toujours envisageable.

Lors de la réutilisation du matériel stocké dans les FCP, les pertes travaux de dragage et d'immersion se produisent. Ainsi, pour combler les fosses de fondation et le GBF aura plus de matériel sera nécessaire que ce qui a été stockée. En tenant compte des pertes de 30% sera à venir. Rencontrez les 62.000 m³ requis par la fondation et le remblai de remplissage d'environ 88.600 m³ dragués Dans le pire des cas (configuration 1) résultant en un déficit de 1.675.800 m³ de matériel qui sera. Supplémentaires de dragage Cet effet est considéré comme modérément négative.

Le risque hypothétique d'un déversement accidentel de matières polluantes dans l'eau n'engendrera, étant donné les conditions de courant et le caractère sableux des sédiments de fond superficiels, aucune contamination du fond.

Lors de l'installation de la protection anti-érosion l'on utilisera d'une part du gravier (calibre 10-28 mm) et d'autre part du libage (calibre 50-500 mm). En utilisant des matériaux purement géologiques pour la protection anti-érosion, cela n'aura (pratiquement) aucune incidence sur la qualité de fond chimique.

Phase opérationnelle

En installant une protection anti-érosion, l'on évite des fosses d'érosion. De telles fosses d'érosion peuvent en effet avoir des dimensions mettant en danger la stabilité de toute la construction de l'éolienne. L'installation d'une protection anti-érosion constitue donc une mesure positive pour la structure du fond et pour la politique d'entreprise. Cette protection anti-érosion forme en revanche une hétérogénéité au niveau du fond sableux. Comme la protection anti-érosion est installée sous le niveau initial du fond de la mer, la protection anti-érosion ne forme pas de rupture verticale de la structure du fond. L'on peut même s'attendre à ce que le sable se déplace de manière naturelle au-dessus de la protection anti-érosion.

Bien qu'au niveau des éoliennes, cela engendre une perturbation du transport de sédiments naturel, les incidences sur les processus naturels globaux au sein de la zone de concession seront particulièrement limitées. L'incidence de chaque construction est en effet – grâce à la présence de la protection anti-érosion – trop limitée et la distance entre les éoliennes trop importante. L'effet des éoliennes sur la morphodynamique globale de la PBMN est considéré comme étant négligeable pour les différentes alternatives de configuration.

L'installation de protection anti-érosion est d'une part nécessaire pour la stabilité de la construction et atténue d'autre part les effets sur le fond de l'érosion locale à cause de la présence d'une construction. Bien que la protection anti-érosion forme en soi une hétérogénéité locale par rapport au fond marin sableux, l'installation de la protection anti-érosion est considérée comme une incidence peu négative pour l'environnement.

Phase de démantèlement

Dans le cadre d'une fondation de type monopylône ou jacket qui est enfoncée, il n'y aura pas d'incidences supplémentaires sur la construction géologique des packs de fond en question ou sur la morphodynamique puisque les fondations en question restent partiellement. Lorsque la technique de suction bucket est utilisée, les fondations peuvent même être entièrement enlevées. Les puits peuvent être remplis de sable ou de matériel de protection anti-érosion.

Dans le cadre de fondations gravitaires, tout est enlevé et il reste un puits par turbine. Ici non plus, il n'y aura pas d'incidences supplémentaires quant à la géologie par rapport à la phase de construction et opérationnelle. Ici aussi, l'on propose de les remplir avec du sable, si cette excavation se développait encore à cause de l'érosion locale.

La décision d'enlever ou pas la protection anti-érosion sera prise à la fin de l'exploitation en se basant sur le contrôle, les avancées techniques et sur l'expérience acquise entre-temps. En l'enlevant, la composition géologique initiale sera rétablie. Laisser la protection crée un artefact géologique permanent par emplacement de l'éolienne au niveau de la PBMN.

Câblage

Les câbles de connexion vers l'île Alpha ou le câble export vers la côte peuvent être placés en dehors du chenal de navigation par labourage, au minimum 1,5 m sous le lit marin. Il est aussi envisagé de draguer une tranchée le long de tout le tracé du câble export. Dans le chenal, il faudra faire appel à une combinaison de dragage, de jetting et de labourage.

Les câbles sont installés à une profondeur suffisante écartant ainsi le risque qu'un câble n'apparaisse. A des endroits avec de l'argile tertiaire, la profondeur est éventuellement restreinte à 1 m, en fonction de la faisabilité. Les dommages au niveau des câbles à cause d'ancres à hauteur des chenaux seront évités en plaçant le câble à une profondeur adaptée dans le chenal. Le tracé du câble est en outre contrôlé annuellement afin d'éviter que le câble n'apparaisse éventuellement. Une possible incidence à cause de l'érosion locale dans le cadre de laquelle les câbles constituent une obstruction au niveau du fond marin est évaluée comme peu négative.

La décision d'enlever ou pas les câbles sera prise ultérieurement. Si les câbles sont enlevés, des incidences non significatives surviennent qui sont comparables aux incidences constatées lors de la phase de construction. Si les câbles ne sont pas enlevées, il n'y aura pas d'incidences.

La présence du câble a pour finir un impact négligeable au niveau de la température du fond.

0.4.1.2.2 Incidences sur l'eau

Phase de construction

Lors de la phase de construction – aussi bien au niveau de la pose de câbles qu'au niveau des éoliennes– il n'y aura pas d'incidences sur l'hydrodynamique, quel que soit le type de fondation. Les incidences sur les courants et les vagues sont très locales et négligeables (BMM, 2007).

Tout comme pour les métaux lourds, l'impact potentiel dû à l'émanation de polluants organiques de la couche de sédiments supérieure lors de l'installation sera assez limité, étant donné que c'est surtout du sable qui est extrait possédant un pourcentage limité de particules fines et de matériel organique. Comme la mer du Nord est considérée comme une zone spéciale (selon MARPOL 73/78) en matière de déchets depuis 1991 et en matière d'huile depuis 1999, cette activité ne peut dès lors, étant donné l'interdiction légale de déversement de déchets et d'huile (par des bateaux de plus de 400 tonnes), pas engendrer le déversement de déchets et d'huile. Le dragage peut causer une petite augmentation temporaire d'éléments nutritifs au niveau de la colonne d'eau. La peinture anti-végétative qui est appliquée sur les bateaux lors de la phase d'installation ne contient pas de TBT. Aucune incidence n'est attendue au niveau de la température, de l'oxygène dissous et au niveau de la salinité.

Lors de la construction de la fondation, une augmentation locale de la turbidité pourra être constatée, aussi bien lors de l'enfoncement de poteaux que lors de l'application de la méthode de suction bucket, du dragage et du déversement de sable. Normalement, le travail sera effectué dans des conditions climatiques calmes (peu de pullulement et de courant). L'on peut dès lors supposer que la turbidité naturelle sera peu élevée. Cela signifie également que la sédimentation des sédiments déterrés se fera rapidement et dans un rayon limité autour des activités.

L'impact du battage d'un monopylône ou d'une fondation jacket, ou le placement d'un suction bucket ont bien sûr un impact plus faible sur la turbidité que l'installation d'une fondation gravitaire.

Dans le cadre de ce projet, une étude de modélisation de panache turbide a été faite pour quantifier la turbidité durant le dragage d'un puit de fondation pour une fondation gravitaire (IMDC, 2013a, annexe externe). L'impact du dragage d'un puit de 90.000 m³ a été estimé sur 14 cycles de dragage et clapage pour une durée totale de 1,5 jour. Les simulations ont eu lieu durant vive-eau pour estimer le cas le plus défavorable. Les résultats du modèle montrent que la valeur ambiante de 4 mg/l (Van den Eynde, 2010) n'est pas dépassée plus de 3,5h (10% du temps) durant tous les travaux de dragage d'un puit de fondation. Ce sont surtout les activités de clapage qui créent une augmentation de la turbidité.

Pour un scénario où l'on drague à la frontière NE et où l'on clape au centre du domaine de concession, la limite de 4 mg/l n'est dépassée que 2,1h durant tous les travaux de dragage d'u puit de fondation. Le dépassement couvre une distance de 1,5 km et n'a lieu qu'à l'intérieur de la zone de concession. Le diamètre du panache se limite à 500 m. Dans le scénario 1, la limite de 10 mg/l en dehors du domaine SeaStar n'est dépassée que 2% du temps (40 min), et de 4% du temps (1h40 min) à l'intérieur du domaine SeaStar. Dans le scénario 2, avec clapage au centre du domaine, la limite de 10 mg/l n'est pas dépassée en dehors du domaine SeaStar. A l'intérieur, le dépassement total ne dure que 1,26h (3% du temps).

La construction de la fondation engendrera, pour chaque type d'exécution et de fondation, une augmentation locale et provisoire de la turbidité avec, en comparaison avec les concentrations de turbidité qui se forment naturellement lors de tempêtes, une incidence peu négative.

Phase opérationnelle

Il n'y a pas d'influence significative sur le courant lors d'une construction d'éolienne. Une éolienne en mer cause un changement restreint de la vitesse de courant des deux côtés du poteau et une turbulence du côté sous le vent du poteau. Les vagues ne seront pas non plus

sujettes à un changement important grâce à la présence d'une construction de fondation et à l'éolienne se trouvant au-dessus.

L'on ne s'attend pas à une incidence à long terme sur la qualité de l'eau. Le risque de déversement accidentel ayant une grave incidence sur la qualité de l'eau est considéré comme très restreint.

A l'exception d'une turbidité locale non significative, proche de la fondation à cause du pullulement du sable près du fond, l'activité ne cause aucune incidence sur la turbidité lors de l'exploitation, quel que soit le type de fondation.

Phase de démantèlement

Les incidences lors de la phase de démantèlement (qui consiste à enlever les poteaux et à éventuellement enlever la protection anti-érosion et les câbles de parc et d'exportation souterrains) seront similaires à la phase d'installation. Pour la plupart des incidences, l'impact sera en outre plus restreint que lors de la phase d'installation.

Câblage

La pose de ces câbles engendrera une hausse provisoire de la turbidité .L'impact au niveau des deux types de câbles et au niveau des modes d'exécution est cependant évalué comme étant très provisoire et local.

Lors de la phase opérationnelle, les câbles souterrains n'ont aucune influence sur la turbidité. Ce n'est que lorsque le câble, après un certain laps de temps, se libère à un certain endroit qu'une augmentation provisoire de la turbidité peut survenir en enterrant à nouveau le câble.

0.4.1.3 Mesures atténuantes

Afin de réduire l'impact du matériel stocké, l'on préfère réduire au maximum la surface de perturbation, mais il ne vaut mieux pas stocker au-dessus des dunes de sables naturelles dans ce périmètre. Une bonne harmonisation des trajets partiels est de toute façon une exigence lors du stockage temporaire du sable. Ceci afin de limiter le plus possible différentes pertes.

En tant que partie intégrante du système de sécurité global, une procédure claire doit être disponible décrivant de quelle façon et par qui des actions ont été entreprises au moment où une calamité ayant des conséquences néfastes pour la qualité de l'eau (par ex. fuite d'huile) survient lors de l'installation, de l'exploitation ou du démantèlement.

0.4.2 Climat et atmosphère

0.4.2.1 Situation de référence et développement autonome

La Belgique connaît en général un climat maritime tempéré avec beaucoup de vent et de pluie et de légères variations de température entre les différentes saisons. Les caractéristiques climatiques qui règnent sur terre valent en grande partie également pour le climat au niveau du parc éolien prévu. En mer, il y a cependant un climat venteux plus constant et une vitesse du vent plus importante. En moyenne, la vitesse du vent à une hauteur de 100 m au-dessus du niveau de la mer est de 8,5 à 10 m/s et la principale direction du vent est (O)SO.

Quant au climat global, ce sont surtout l'effet de serre et le réchauffement de la planète qui sont d'importance dans le cadre de ce projet. L'augmentation des concentrations atmosphériques en matière de CO_2, CH_4 et de N_2O constitue de loin la principale cause du

réchauffement du climat. Afin de réduire l'émission des gaz de serre, il faut opter pour l'énergie respectueuse de l'environnement, comme l'énergie solaire, l'énergie de biomasse, l'énergie éolienne, etc.

Il ressort de données de stations de mesure VMM relatives à la qualité de l'air que les objectifs en matière de qualité d'air sont largement respectés en ce qui concerne les paramètres pertinents (SO_2, NO_x, poussière, ozone et CO). Il y a par conséquent suffisamment de ressources permettant de faire face à l'incidence d'émissions supplémentaires.

Il est permis de dire dans le cadre du développement autonome que les émissions résultant de l'utilisation de matériel, de la construction et du démantèlement du parc éolien n'auront pas lieu. Ceci n'engendrera par conséquent aucune influence temporaire de la qualité d'air local. Les concentrations en matière de CO_2 dans l'atmosphère continueront à augmenter sans mesure de réduction importante et contribueront à l'effet de serre. Les émissions évitées suite à la production d'électricité par le parc éolien seront bien implémentées. Dans le cadre de ce projet, une Analyse de Cycle de Vie a été exécutée (ACV ; IMDC, 2013c, annexe externe). Cette étude montre que l'impact net d'une turbine éolienne dans le domaine de concession est largement positif en terme d'émission CO_2 et de consommation énergétique.

0.4.2.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.2.2.1 Phase de construction

L'installation du parc éolien n'aura aucune incidence significative au niveau du climat global et du climat venteux local.

La phase de construction ne comprend pas seulement la construction effective du parc éolien, mais commence déjà par l'extraction de matières premières nécessaires pour la production des différentes composantes des éoliennes. Cette phase comprend également la production des éléments, le montage préalable éventuel des éoliennes et des éléments dans un port limitrophe, le transport vers la zone de concession et la construction effective du parc éolien. La consommation énergétique et les émissions s'y rattachant sont largement plus importantes durant la phase de production que lors de la phase de transport et de construction.

Dans l'annexe externe du RIE (IMDC, 2013c), une Analyse de Cycle de Vie (ACV) a été faite d'une turbine de 10 MW. Il y a été calculé que durant la phase de production, la consommation énergétique est d'environ 16 GWh (fondation jacket) à 18 GWh (fondation gravitaire) et l'émission de CO_2 de 22.000 tonnes (jacket) à 23.000 tonnes (gravitaire). Durant la phase de transport, l'estimation pour une turbine éolienne sur jacket ou fondation gravitaire est respectivement de 140 et 152 MWh. Ceci correspond à une émission d'environ 36,5 à 38,5 tonnes de CO_2. Enfin, une consommation énergétique de 400 à 500 MWh est estimé durant la mise en place de la turbine. Ceci correspond à une émission d'environ 36,5 à 38,5 tonnes de CO_2. Le placement du câblage et de la station à haute tension ne sont pas pris en compte ici.

Pour la construction complète des turbines et du parc éolien, les émissions supplémentaires auront une influence négative négligeable sur la qualité de l'air.

0.4.2.2.2 Phase de production

Durant la phase de production, les différents composants de la turbine éolienne sont fabriqués. L'extraction des ressources nécessaires est aussi prise en compte ici. Il ressort de

l'ACV (IMDC, 2013c) que cette phase est celle avec le plus fort impact environnemental sur le climat. Le type de fondation choisi a une influence importante sur la consommation énergétique totale et sur l'émission de gaz à effet de serre générés durant la phase de production. La production d'une turbine éolienne de 10 MW nécessite environ 11,3 GWh en énergie. La consommation énergétique totale pour la production d'une turbine de 10 MW sur des fondations jacket est de l'ordre de 16 GWh, et de 18 GWh pour une turbine comparable sur une fondation gravitaire. Ceci mène à l'émission de respectivement environ 22.000 et 23.000 tonnes de CO_2. La production des différents composants n'aura pas lieu dans le domaine de concession même et n'a donc pas d'impact sur la qualité de l'air locale.

0.4.2.2.3 Phase de transport

La phase de transport comprend d'un côté le transport des composants des turbines du lieu de production vers un port proche, et d'un autre côté le transport des turbines et des fondations de ce port vers le domaine de concession SeaStar. Dans IMDC (2013c), il est supposé que ces turbines seront construites quelque part au Nord de l'Allemagne ou au Danemark. Les sites de production de RE-Power, vestas, Samsung et Areva se situent tous dans cette zone. Il est supposé que les pièces de transition et les fondations seront produites en Belgique.

La consommation énergétique totale pour tout le transport d'une turbine de 10 MW dépend du type de fondation qui sera appliqué. Une fondation gravitaire est produite dans le port même, mais est en revanche beaucoup plus dificile à transporter qu'une fondation jacket ou monopylône, qui sont souvent transportées par lots vers le domaine de concession. Dans IMDC (2013c), le coût énergétique du transport total d'une turbine avec fondation jacket ou gravitaire est estimé à respectivement 140 et 152 MWh. Ceci correspond à une émission de CO_2 d'environ 36,5 à 38,5 tonnes. Dans les calculs il a été tenu compte de types de navires connus avec leur capacité spécifique et leur consommation de fuel par kilomètre. Comme le Canal de la Manche compte parmi les routes de navigation les plus chargées du monde, l'émission de CO_2 généré par le transport des turbines vers le domaine SeaStar ne devrait avoir qu'un impact très réduit sur la qualité de l'air locale.

0.4.2.2.4 Phase opérationnelle

Durant la phase opérationnelle, il y aura une consommation énergétique restreinte pour l'inspection et l'entretien du parc éolien. Dans l'ACV (IMDC, 2013c), la consommation énergétique totale durant la phase opérationnelle est estimée à environ 1.640 MWh par turbine. En interdisant la zone de concession de vent belge au trafic maritime, les bateaux devront parcourir de plus longues distances en émettant par conséquent plus de gaz à effet de serre.

La principale incidence lors de la phase opérationnelle se situe tout de même au niveau des émissions évitées sur terre suite au fait que la production d'électricité nette du parc éolien ne soit pas réalisée par le biais de la production classique, en combinaison ou pas avec le nucléaire. Dans la pratique, ces émissions ne pourront pas être évitées de manière stricte, mais l'augmentation du nombre total d'émissions sera freinée.

Les émissions évitées chaque année, calculées sur base des facteurs d'émission pour la production d'électricité classique constituent entre 4,2% (800 GWh) et 7,4% (1.400 GWh) des émissions venant de la production classique en Belgique pour tous les polluants. Les émissions évitées sur l'année, calculées sur base des facteurs d'émission pour la production

nucléaire et classique combinée, constituent entre 2,3% et 4,0% des émissions venant de la production classique en Belgique pour tous les polluants.

Si la production d'électricité venant de ce parc éolien engendre effectivement une diminution équivalente de la production d'électricité sur terre par le biais de la production thermique classique, ceci aura un effet positif significatif sur la qualité de l'air sur terre en général et sur l'effet de serre et le dépôt acide en particulier. En réalité, ce projet ne fera vraisemblablement que freiner les émissions croissantes contribuant à l'effet de serre.

L'impact positif sur l'effet de serre sera négligeable au niveau mondial, mais la réduction d'émission a son importance dans le cadre des objectifs de réduction belges en matière de CO_2. L'Union européenne a fixé un objectif pour la Belgique visant à réduire l'émission des gaz à effet de serre dans les secteurs non ETS d'au moins 15% en 2020 par rapport à 2005 (LNE, 2012). Le 1er février 2013, le 'Derde Vlaams Klimaatsbeleidplan' a été approuvé pour la période 2013-2020. Les émissions réellement évitées suite au parc éolien contribueront fortement à atteindre cet objectif.

Les incidences du parc éolien quant au climat venteux local (vitesse du vent, turbulence) resteront limitées à des incidences relativement locales. L'effet négatif de l'émission de chaleur des câbles enfouis sur le climat de température local se limitera aux parties très limitrophes dans le sol.

0.4.2.2.5 Phase de démantèlement

Le démantèlement du parc éolien n'aura aucune incidence sur le climat global et le climat venteux local.

La phase de démantèlement a un effet positif sur la consommation énergétique car environ 80% du matériel de la turbine peut être récupéré. L'extraction de nouvelles matières premières est par conséquent limitée.

L'impact sur la qualité de l'air suite aux émissions des engins de navigation utilisés pour le démantèlement – comme dans la phase de construction - local (à hauteur de l'emplacement des éoliennes), sera limité dans le temps et très restreint en comparaison avec les émissions totales du trafic maritime, de sorte que l'impact négatif au niveau de la qualité de l'air soit restreint. Il peut en outre être envisagé que les émissions en matière de transport lors de la phase de démolition par unité de transport seront inférieures à celles de la phase d'aménagement et que les facteurs d'émission des bateaux de transport seront sensiblement inférieurs dans 20 à 25 ans par rapport à aujourd'hui.

0.4.2.3 Mesures atténuantes

Puisque les éoliennes sont d'un point de vue global responsables d'une importante réduction en matière d'émission par rapport aux centrales classiques à terre et que l'impact sur la qualité de l'air lors de la phase de construction et de démantèlement reste limité, des mesures atténuantes et des compensations relatives à la discipline atmosphérique ne s'imposent pas.

0.4.3 Son et vibrations

0.4.3.1 Situation de référence et développement autonome

Aussi bien en mer (offshore) qu'au niveau de la côte (onshore), le bruit des vagues est déterminant pour le niveau de bruit de fond au-dessus de l'eau. Lorsque la mer est calme, les niveaux sonores les moins élevés sont attendus équivalant à environ 45 dB(A) en mer et à environ 35 à 40 dB(A) la nuit sur la côte. Lorsque la mer est plus agitée, des augmentations sonores de plus de 10 dB(A) peuvent s'y rajouter. A 25 m de la ligne côtière, le niveau de bruit de fond correspond à 50 voir 65 dB(A). Le niveau sonore dépend en outre de la direction du vent et de la vitesse du vent. Les niveaux sonores les plus élevés sont constatés en cas de vent venant de la mer et en cas de vitesses du vent croissantes.

Sous l'eau, le bruit environnemental est d'une part déterminé par les bruits naturels et d'autre part par les sons anthropogènes. Lors de conditions climatiques favorables (2-3 Beaufort, houle 1-2, mer clapoteuse voir légèrement ondulante), un niveau de bruit de fond naturel d'environ 95 voir 100 dB (re 1µPa) a été mesuré sur le Thorntonbank au sein de la zone de fréquence de 10 à 2.000 Hz. Lors de conditions climatiques moins favorables (3-4 Beaufort, houle 2-3, mer légèrement ondulante voir ondulante), le niveau de gazouillement à fréquence basse augmente pour atteindre 130 dB. Durant la période estivale, le niveau de bruit de fond peut en outre augmenter de 7 dB. Les bateaux qui passent , peuvent engendrer une hausse temporaire du niveau de bruit de fond (jusqu'à +10 dB par rapport au niveau de bruit de fond max.) au sein de la même zone de fréquence.

Au niveau du bruit et des vibrations, il n'y a globalement pas de changements significatifs prévus lors du développement autonome de la zone. Il n'y a que la construction (continue) et l'exploitation des parcs éoliens de C-Power, Belwind, Northwind, Norther et Rentel qui engendreront des changements.

0.4.3.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.3.2.1 Phase de construction

En ce qui concerne les aspects spécifiques des travaux de construction, l'on peut distinguer trois sources sonores pertinentes : l'enfoncement des fondations (pour la fondation de type monopylône ou de type jacket), le dragage (pour des fondations gravitaires et pour la moitié des fondations de type monopylône ou de type jacket) et le trafic maritime (pour les éléments de fondation et de turbine).

Au-dessus de l'eau

Une machine à enfoncer les pilotis est particulièrement bruyante. Surtout la nature très battante de son fonctionnement peut beaucoup perturber (30-60 coups par minute), la durée de chaque coup se situe entre 50 et 100 ms. Des niveaux de pression sonore de 106 dB(A) peuvent survenir à proximité d'une machine à enfoncer les pilotis de manière hydraulique (circa 15 m). Il s'agit en revanche de niveaux sonores maximaux (pic) lors du coup. Le niveau sonore actuel de 50-65 dB(A) à 25 m de la ligne côtière ne peut pas être augmenté à cause du coup du mouton de sonnette.

Les machines de dragage constituent, contrairement à un bateau qui passe, une source sonore continue durant plusieurs jours par semaine au sein d'une zone d'exploitation déterminée. Dans le cadre d'une situation moyennement préjudiciable, le son se déplace de

manière sphérique et atteint à une distance de 0,7 km et à une distance de 1,1 km un niveau sonore de respectivement 45 et 40 dB(A) lors des activités d'une seule machine de dragage au sein de la zone de projet. Même si plusieurs machines de dragage sont utilisées simultanément, le son spécifique au niveau de la ligne côtière est toujours très inférieur au niveau de bruit de fond actuel.

Un bateau qui passe engendrera une augmentation temporaire du bruit environnemental au-dessus et sous l'eau. L'influence des bateaux supplémentaires quant au bruit environnemental total actuel au-dessus de l'eau en mer sera en revanche globalement négligeable par rapport au trafic maritime actuel.

Sous l'eau

En enfonçant les poteaux de fondation dans le cadre de fondations de type monopylône et jacket, le son de source constaté sous l'eau, dépend fortement du diamètre et de la longueur du poteau, de la géologie locale et de la bathymétrie. Les deux premiers facteurs sont d'influence sur la quantité d'énergie nécessaire afin d'enfoncer le poteau. Le dernier facteur détermine l'efficacité de la diffusion sonore. L'utilisation de plusieurs outils pour l'enfoncement simultané de poteaux peut engendrer une extension potentielle de la zone d'impact. Il ressort de données d'ouvrages spécialisées que lors de l'enfoncement un niveau sonore moyen de 250 dBp-p (re 1 µPa) est présent à 1 m de distance dans le cadre d'un diamètre de poteau de 4-5 m. Cela fait que lors de l'enfoncement des fondations, des niveaux sonores peuvent encore être constatés à 20 km de distance qui sont supérieurs aux niveaux de bruit de fond de 105 dB (re 1 µPa).

Lors du dragage, le bruit subaquatique lors de conditions climatiques favorables sera, jusqu'à quelques kilomètres de la source, significativement supérieur au niveau de bruit de fond présent.

L'influence des bateaux supplémentaires quant au bruit subaquatique actuel est globalement négligeable par rapport au trafic maritime actuel.

0.4.3.2.2 Phase opérationnelle

Au-dessus de l'eau

Dans le cadre d'une situation moyennement préjudiciable, le son se déplace de manière sphérique et atteint à une distance de 1,0-1,5 km et à une distance de 2,2-2,8 km un niveau sonore de respectivement 45 et 40 dB(A). A la limite de la zone de sécurité (zone de 500 m autour du parc), le niveau sonore sera inférieur à 50 dB(A). Ceci est comparable au niveau sonore causé par un léger trafic automobile à 30 m, par la pluie, par un frigidaire, un lave-vaisselle et par le bruit environnemental en forêt.

Le bruit spécifique calculé à hauteur d'un observateur à la côte atteint environ 8-10 dB(A) en fonction du scénario choisi pour le parc éolien SeaStar.

Sous l'eau

En tenant compte de la perte de transmission de Thiele, il y aura à une distance de 500 m (= limite zone de sécurité) de l'éolienne sous l'eau une perte de transmission de 40 dB, masquant vraisemblablement le bruit spécifique d'une éolienne sous l'eau grâce au bruit de fond mesuré au niveau du Thorntonbank. En ce qui concerne un groupe de turbines, comme cela a été mesuré dans la mer baltique, l'on peut s'attendre à un niveau sonore max. de 110

dB sous l'eau à une distance de 500 m du parc éolien et à une vitesse du vent de 8-10 m/s (5 Beaufort).

Un effet peu négatif est attendu suite au son subaquatique lors de l'exploitation dans tous les scénarios d'exécution décrits. L'impact relatif par rapport à la concession de vent ou à la PBMN est dès lors négligeable.

0.4.3.2.3 Phase de démantèlement

Lors du démantèlement du parc éolien, les structures de fondation de type monopylône et de type jacket sont démantelées jusqu'à 2 m sous le fond marin. Le fond autour de la turbine est excavé et l'éolienne est ensuite sciée. L'utilisation d'une scieuse sous l'eau engendrera un niveau sonore accru sous l'eau. La fondation gravitaire est vidée et évacuée entièrement vers la côte. L'émission sonore des outils est plus restreinte que pour la fondation de type monopylône ou de type jacket.

En évacuant les éoliennes par bateau, cela engendrera une augmentation temporaire du trafic maritime qui est comparable à la phase de construction.

0.4.3.2.4 Câblage

Suite au câblage, l'on s'attend à une augmentation temporaire du son aussi bien au-dessous que sous l'eau. Cette augmentation ne vient que d'un seul bateau, elle ne sera perceptible que durant un court laps de temps et se déplacera en outre en fonction de la position du bateau. Cette augmentation du son au-dessus et en-dessous de l'eau aura une incidence négligeable par rapport à l'émission sonore quotidienne engendrée par le trafic maritime en mer du Nord.

0.4.3.3 Mesures atténuantes

Pour la protection de l'habitat de la faune subaquatique, différentes mesures atténuantes peuvent être indiquées lors de l'installation de parcs éoliens offshore. Celles-ci seront abordées de manière plus détaillée dans le chapitre 'Faune, flore et biodiversité'.

Le nombre d'observateurs en mer (offshore) qui percevront fréquemment le bruit des éoliennes est tellement restreint qu'il est tout aussi inutile de proposer des mesures atténuantes pour le son au-dessus de l'eau.

0.4.4 Faune, flore et biodiversité

La partie faune et flore traite de quatre groupes d'organismes différents, étant le benthos (macrobenthos et épibenthos), les poissons, les oiseaux et les mammifères marins. Comme les substrats durs forment un nouvel habitat avec une faune et une flore spécifique, ceci sera analysé comme un cinquième groupe additionnel.

0.4.4.1 Situation de référence et développement autonome

0.4.4.1.1 Benthos et poissons

Les animaux vivant au niveau du fond marin (ou benthos) jouent un rôle important dans le cercle alimentaire. Le benthos est subdivisé en macrobenthos, étant des organismes >1mm vivant dans le sol et en épibenthos, les organismes vivant au fond. Ils constituent une proie

pour de nombreux autres organismes comme les poissons démersaux. Ils apportent en outre une importante contribution à la productivité et à la biodiversité de la mer, et sont un indicateur important pour la santé de l'environnement marin. L'étude des poissons se focalise sur les poissons démersaux. Ce groupe de poissons sera directement le plus gêné par les activités prévues.

La description de la situation de référence et les incidences sur le benthos et les poissons est essentiellement basée sur les études effectuées dans le cadre du projet C-Power axées sur la situation de référence et sur les résultats de la surveillance au niveau du Thorntonbank et du Blighbank (De Maersschalck *et al.*, 2006 ; Reubens *et al.*, 2009a, 2011; Vandendriesschie *et al.*, 2009, 2011, 2012; Coates & Vincx, 2010; Derweduwen *et al.*, 2010; Coates *et al.*, 2011, 2012). On a ensuite fait appel à d'autres études récentes (y compris les rapports de surveillance) ayant compilé des projets de recherche afin d'obtenir une description couvrant le territoire quant aux communautés de benthos au niveau PBMN.

Le long du gradient onshore-offshore de la de PBMN, on peut distinguer quatre communautés macrobenthiques survenant de manière générale. On définit entre celles-ci encore six communautés de transition. Ces communautés sont chacune caractérisées par des espèces, une diversité et une densité propres, et sont observées chacune dans un environnement spécifique et bien défini. Sur base du modèle d'adaptabilité à l'habitat de Degrear *et al.* (2008), il semble que la zone de projet soit essentiellement adaptée aux communautés de *N. cirrosa* et *O. limacina* plus pauvres, et en moindre mesure à la riche communauté d'*A. alba*. Comme ces prédictions sont basées sur un modèle, la répartition effective des communautés ne peut pas être représentée avec certitude.

Selon la carte d'évaluation biologique, la zone de projet est caractérisée par des valeurs biologiques très basses et très importantes pour le macrobenthos (Derous *et al.*, 2007). Dans Degraer *et al.* (2009), le Blighbankbank n'est pas retenu comme zone de directive en matière d'habitat potentiel (type d'habitat 1110 – bancs de sable) à valeur écologique particulière. Le Lodewijkbank est cependant retenu comme zone de directive en matière d'habitat potentiel en se basant sur la valeur biologique et la densité du biotope de *N. cirrosa*. La zone de projet est peu adaptée à la formation d'agrégats de *Lanice conchilega*.

Toutes les analyses concernant la composition des sortes, de la densité, de la biomasse, de la diversité et de la fréquence de longueur de l'épibenthos ont démontré une différence nette entre les stations de bancs de sable et les stations de canal au niveau du Blighbank, où des densités supérieures (jusqu'à six fois) ont été notées dans les canaux. Des échantillons des canaux ont cependant démontré une plus grande variation mutuelle que les échantillons des bancs de sable. La variation saisonnière, interannuelle et spatiale démontrée était surtout la conséquence de proportions changeantes d'un certain nombre de sortes épibenthiques générales comme la crevette grise, deux sortes d'ophiures, le bernard l'hermite, le crabe nageur, la sépiole et l'encornet loliginidé. Les canaux limitrophes sont donc en général plus diversifiés et riches que les bancs de sable, mais plus riches, en comparaison avec les zones côtières, la zone de projet est moins importante écologiquement parlant.

Le même raisonnement s'applique aux poissons démersaux, les canaux sont plus diversifiés et plus riches que les bancs de sable, surtout au printemps. Au printemps, les espèces les plus importantes au niveau de la densité étaient le hareng, le sprat, en plus du dragonnet réticulé. En automne, il y avait surtout le chinchard, la petite vive, deux dragonnets, le têtard, la petite sole jaune et la limande. Les densités de poisson étaient en général plus importantes en automne qu'au printemps (excepté la famille des harengs).

En ce qui concerne le développement autonome, l'on peut affirmer que les communautés de benthos et la faune de poisson démersaux ne changeraient pas vraiment si aucun parc éolien n'était construit ou exploité. Les tendances à long terme et les récents résultats de contrôle ne montrent en effet pas de modifications significatives au niveau des espèces dominantes, uniquement une croissance générale en matière de densité et de richesse des espèces. D'autres activités comme la pêche et l'extraction d'agrégation, tout comme les changements climatiques, peuvent en revanche avoir une influence sur ces communautés.

0.4.4.1.2 Oiseaux

A partir de la période 2008-2009, le domaine de concession Seastar a été surveillé de manière intensive au niveau du Blighbank. Les résultats de ces comptages montrent que cette zone a une densité moyenne d'oiseaux plus faible que la moyenne de la BPNM. Selon la carte d'évaluation biologique de Derous *et al.* (2007), le territoire du projet a une valeur écologique très faible à moyenne. Etant donné que le Blighbank est localisé à une distance significative de la côte, les éspèces côtières telles que le Plongeon catmarin, le grèbe huppé, la macreuse noire et le stern sont rares. Six especes sont présentes avec une densité relativement importante : le fulmar, le grand stercoraire, mouette pygmée, goéland brun, mouette tridactyle, Guillemot de Troïl. Sur le Blighbank, seuls mouette pygmée et grand stercoraire sont importants.

En n'installant pas le parc éolien Seastar, on peut considérer que la valeur pour les oiseaux du site restera la même. La présence des parcs éoliens limitrophes peut en revanche influencer le développement autonome.

0.4.4.1.3 Mammifères marins

Les espèces de mammifères marins qui sont considérées comme étant des animaux indigènes vivant dans les eaux belges sont le marsouin, le phoque normal et gris, le souffleur et le lagénorhynque à bec blanc (Haelters, 2009; 2010). Jusqu'en 2003, les mammifères marins n'étaient observés que très rarement lors de comptages d'oiseaux marins dans les eaux marines belges (Courtens *et al.*, 2006). Il s'agissait principalement de phoques (aussi bien le phoque normal que le phoque normal) et de marsouins. Depuis le printemps 2003, de plus en plus de mammifères marins sont constatés, surtout les marsouins et les lagénorhynques à bec blanc sont très nombreux. La cause de ce phénomène est sans doute imputable aux très mauvaises conditions alimentaires dans la zone de répartition de ces espèces se trouvant au nord, bien que d'autres raisons ne puissent pas être exclues. (Courtens *et al.*, 2006).

Tous les mammifères marins sont des espèces protégées. La Belgique a adopté des obligations quant aux mammifères marins afin de les protéger et afin d'éviter le plus possible les impacts négatifs. Les cétacés et les phoques sont en effet des espèces qui sont reprises dans la Directive européenne relative à l'Habitat Annexe II et IV. Cela signifie qu'elles ne peuvent pas être dérangées délibérément lors de l'hibernation, de la reproduction et de la migration (article 12). La Belgique a également accepté dans le cadre d'ASCOBANS (Accord concernant la conservation des petits cétacés de la mer Baltique et de la mer du Nordi) que les différentes parties s'efforceraient d'éviter une perturbation importante, tout particulièrement de nature acoustique (Conservation and Management Plan en Annexe du Contrat) (BMM, 2007).

Lors de la migration, une grande partie de la population de marsouins de la mer du Nord utilise la PBMN. C'est pourquoi la PBMN est considérée comme étant très importante d'un point de vue saisonnier pour les marsouins en Europe, surtout à partir de la fin de l'hiver jusqu'au début du printemps (Haelters, 2009; Haelters & Camphuysen, 2009; Degraer *et al.*, 2010b). Comme le marsouin est beaucoup plus présent que les autres espèces de mammifères marins au sein de la PBMN, et comme le marsouin semble être très sensible aux perturbations, l'on se focalise sur le marsouin lors de la description des incidences.

0.4.4.1.4 Substrats durs

Actuellement, il n'y a pas encore de substrats durs au sein du territoire de concession de Seastar. Il n'y a donc pas besoin au sens strict d'analyser la situation de référence pour la faune des substrats durs. Afin de clarifier l'analyse des incidences du futur parc éolien, une description de la situation de référence des turbines présentes au niveau du Thorntonbank et du Blighbank est néanmoins donnée ici.

La méthode d'échantillonnage et les résultats du contrôle de l'épifaune et les communautés de poissons de substrats au niveau du Thorntonbank et du Blighbank sont décrits par Kerckhof *et al.* (2009, 2010, 2011, 2012) et Reubens *et al.* (2009b, 2010, 2011). L'épifaune est ici considérée comme tous les organismes (>1mm) vivant sur des substrats durs (fondations, turbines, protection contre l'érosion).

Comme cela a été observé dans d'autres études, la colonisation des substrats disponibles a lieu rapidement. Plus de la moitié des espèces disponibles (41 des 78 taxa) ont été observés dans les deux parcs éoliens, les bernicles Jassa hedmani étant l'espèce dominante (densité de 90 000 ind./m^2). Lors de la première année la colonisation s'est déroulée de manière similaire dans les deux parcs. Après la première année, les espèces sessiles ont montré des motifs de colonisation très différents. Un nombre d'espèces significativement plus élevé a été observé sur les fondations en béton à C-Power que sur les monopieux en acier de Belwind (70 contre 49 espèces). Dans les deux parcs, la croissance biologique a montré de fortes similarités avec les communautés avoisinantes sur les substrats durs artificiels et naturels. De plus, 8 espèces non indigènes semblaient déjà être présentes dès 2011 (Kerckhof *et al.*, 2011).

Les premiers résultats pour les communautés de poisson des substrats durs en Belgique ont été obtenus par Reubens *et al.* (2010). Au total, l'on a dénombré sept différentes espèces de poisson dont quatre sortes de manière régulière : le tacaud commun, le cabillaud, le chinchard commun et le maquereau. Les observations visuelles, effectuées entre juillet et octobre, ont démontré qu'une population de minimum 29 000 tacauds communs était présente autour d'une éolienne. Les espèces de proie du tacaud commun (*Jassa herdmani* et *Pisidia longicornis*) sont également présentes en densités très importantes sous forme d'épifaune sur les fondations des éoliennes. (Reubens *et al.*, 2010).

L'étude de Reubens *et al.* (2011) examinant le comportement et l'utilisation de l'habitat du Cabillaud à proximité des éoliennes a suggéré d'une part qu'il était attiré et d'autre part que la répartition spatiale à petite échelle (choix de l'habitat) du cabillaud individuel était influencée par le cycle diurne. Des recherches plus approfondies sont cependant nécessaires.

En ce qui concerne le développement autonome, l'on peut affirmer que le nombre de substrats durs faisant office d'habitat potentiel pour l'épifaune et pour les poissons augmentera suite au nombre de parcs éoliens (récemment) autorisés et aux possibilités créées au niveau de la

production de mollusques bivalves dans les élevages sur filières (AR 07/10/2005). Pour finir, les épaves constituent également un habitat de prédilection pour l'épifaune et les communautés de poisson des substrats durs, mais aucune augmentation en nombre n'est prévue.

0.4.4.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.4.2.1 Benthos

L'on peut en général affirmer que les incidences pour le macrobenthos et l'épibenthos seront similaires. Ils sont par conséquent analysés ensemble sous la dénomination benthos.

Phase de construction

Les incidences possibles durant la phase de construction sont la perte et la perturbation de biotope, la perte d'organismes, la sédimentation et le bruit et les vibrations. Excepté la destruction du biotope et des organismes, les autres effets sont temporaires.

A cause de l'installation des fondations et de la protection contre l'érosion des éoliennes et de l'éventuelle station de haute tension offshore, une partie du biotope doux d'origine (sable avec ici et là des lits de gravier) est accaparée par de nouvelles structures et/ou le biotope est détruit lors du nivellement ou du dragage des puits de fondation (perte de biotope directe). Parallèlement, il y a également une perturbation de biotope momentanée ou pas suite au stockage du sable de dragage dans le cadre entre autres de la technique de fondation gravitaire (perturbation de biotope indirecte). La perturbation de biotope dépend du nombre de structures, du type de fondation et des dimensions de la protection contre l'érosion.

En ce qui concerne les monopylônes et la fondation de type jacket, la perte de biotope directe par turbine est respectivement de 1.018-1.104 m² et de16-28 m² (en fonction du type de turbine), alors que pour la fondation gravitaire cela s'élève environ à 26.350 m². En ce qui concerne les monopylônes et les fondations de type jacket nécessitant d'abord un nivellement, la perte de biotope directe s'élève respectivement à 9.450 m² et 9.400 m² par turbine. En fonction du type de fondation, la perte directe totale en matière de biotope sableux par le parc éolien entier (y compris les stations de transformateur) varie entre les 4,3 ha (conf. de base, MP avec protection contre l'érosion dynamique) et les 245 ha (conf. 1, GBF) ou respectivement 0,2%-11,6% du territoire de concession. La perte de biotope directe varie donc de pratiquement inexistante (MP avec protection contre l'érosion dynamique) jusqu'à modérément négative (GBF).

En optant pour les fondations gravitaires, une perturbation substantielle du biotope survient à cause du stockage –temporaire ou pas- de sable de dragage (environ 63.000 m³/GBF). Pour les monopylônes et les fondations de type jacket nécessitant un nivellement, le volume devant être déposé s'élève respectivement à environ 13.300 m³/MP et 11.200 m³/JF. La superficie de la perturbation du fond suite au stockage est tributaire du scénario de stockage choisi et varie dans la pire des situations possibles (conf. 1, GBF) entre 397 ha (1 m de stockage) et 79 ha (5 m de stockage).

Une économie d'échelle survient clairement en ce qui concerne la perte biotope totale (directe et indirecte) lors du choix entre la fondation gravitaire par rapport au monopylône ou à la fondation de type jacket. Cette grande différence est principalement imputable à l'absence ou à la présence limitée de perte de biotope indirecte au niveau du stockage de sable lors du choix entre un monopylône ou une fondation de type jacket. Le scénario optant pour un stockage du sable de dragage (GBF) dans une couche de 5 m signifie une baisse de la

perturbation d'environ 80%. La perturbation de biotope totale (protection contre l'érosion + stockage) dans le scénario de 5 m de stockage (le plus probable) dans le cadre de la fondation gravitaire reste acceptable (8,9% (conf. de base, GBF) jusqu'à 16,9% (conf. 1, GBF) du domaine de concession), surtout en comparaison avec toute la PBMN (< 0,1%). Le territoire de projet est en outre caractérisé par des valeurs naturelles spéciales permettant de conclure que la perte de biotope pour les organismes benthiques aura une incidence négative restreinte (MP, FJ) voire modérée (GBF stockage de 5 m) au niveau de l'écosystème marin.

La perte d'organismes benthiques équivaut à la perte/perturbation de biotope. Malgré l'absence de données spécifiques du site (biomasse et structure de population), l'incidence létale peut être déduite des données de l'étude de référence du Thorntonbank au sein de laquelle la perte en matière de biomasse (macrobenthos et épibenthos) est estimée à environ 33 g/m² (De Maersschalck *et al.*, 2006). Si l'on opte pour un monopylône ou une fondation de type jacket, l'incidence négative sera considérée comme peu négative. En cas de fondation gravitaire, nous constatons une hausse significative de la perte d'organismes par rapport aux deux autres types de fondations. Ici, l'incidence de la mortalité sur la biomasse ou sur le fonctionnement de l'écosystème local aura vraisemblablement un impact modérément négatif. La recolonisation du sable déplacé (stockage) aura en outre de toute vraisemblance lieu endéans l'année. Comme le territoire est fermé à la pêche aux tangons, un refuge est également créé pour le benthos. La perte d'organismes de fond suite à la pêche (mortalité entre 5-65%) est donc ainsi évitée (E-connection, 2007).

Les activités de dragage nécessaires afin de déplacer les fondations et de déverser le sable de dragage (gravitaire) n'engendrent pas seulement une perte (temporaire) du biotope, mais aussi une sédimentation et une turbidité accrues dans la zone limitrophe aux travaux. Le territoire de projet SeaStar est en outre situé dans de l'eau de Canal relativement claire. A cause de l'opacification de la colonne d'eau, la lumière arrive moins bien à percer. Ceci peut éventuellement rendre la croissance (production primaire) du phytoplancton plus difficile pouvant ainsi influencer la chaîne alimentaire. Parallèlement à ces constations, nous pouvons supposer que la perturbation par la sédimentation suite aux activités de dragage par SeaStar aura une incidence modérément négative si l'on opte pour des fondations gravitaires. Dans le cas du monopylône ou des fondations de type jacket, cela n'aura qu'une incidence peu négative.

Le bruit sous-marin a vraisemblablement le plus d'influence sur les poissons et les mammifères marins. Des vibrations et des changements de pression suite au bruit peuvent quand même avoir une incidence sur les invertébrés comme les crustacés (Popper *et al.*, 2001). Il ressort en revanche d'études effectuées au niveau de Horns Rev et Nysted que l'impact sonore de l'enfoncement des poteaux est négligeable pour les communautés benthiques (Dong Energy *et al.*, 2006).

Phase opérationnelle

Lors de la phase opérationnelle, les possibles incidences sur le benthos se limitent aux changements de la situation hydro-physico-chimique du territoire de projet et aux incidences par le bruit et les vibrations.

La qualité de l'eau ne sera pas influencée de manière négative par l'huile pouvant s'échapper ou par la présence de protection contre la corrosion. Aucune incidence n'est attendue au niveau du bilan d'oxygène dans l'eau. L'on ne s'attend par conséquent à aucune incidence au niveau de la vie subaquatique.

Etant donné que l'incidence négative du bruit sur le benthos lors de la phase de construction est considérée comme négligeable, l'incidence lors de la phase d'exploitation est quasiment considérée comme inexistante pour toutes les alternatives de configuration.

Aucune incidence négative sur les communautés benthiques initiales (Bio/consult as, 2005; Dong energy *et al.*, 2006)²au niveau de la structure du fond marin n'est par ailleurs détectée suite aux changements en matière d' hydrodynamique dus à la présence de parcs éolien.

Comme les parcs éoliens peuvent attirer les oiseaux et les poissons, entre autres à cause d'une hausse des possibilités alimentaires, la pression de prédation sur les communautés benthiques peut s'accroître (Leonhard & Pedersen, 2006).

Phase de démantèlement

L'on peut en général affirmer que les incidences de la phase de démantèlement seront similaires à celles de la phase de construction, mais l'intensité d'apparition sera beaucoup moins élevée.

Câblage

Les principales incidences sur le benthos suite au câblage sont la perturbation du biotope, la turbidité, les champs électromagnétiques et le possible réchauffement.

Aussi bien durant les travaux de préparation que durant l'installation offshore des câbles, une perturbation de biotope temporaire et locale aura lieu. Lors des travaux de préparation, cela sera surtout le cas lors du nivellement ou du pre-sweeping et pre-run, puisqu'une espèce de technique de dragage et/ou de remorquage sera utilisée, retournant localement les fonds. Puisque cette perturbation en comparaison avec toute la PBMN peut être considérée comme étant limitée en importance, l'incidence de la perturbation de biotope sur le benthos est évaluée comme étant négligeable. L'on peut en outre supposer qu'après les travaux la communauté benthique se rétablira naturellement.

La turbidité accrue qui aura lieu à cause des travaux de préparation et la pose de câbles pour le parc éolien SeaStar est d'un ordre de grandeur beaucoup plus restreint que celle décrite lors de la phase de construction et est considérée comme quasiment inexistante.

La transmission d'électricité par des câbles marins permettra de produire des champs électriques et magnétiques. Ces champs électromagnétiques dépendent du type de câble. Certains invertébrés sont vraisemblablement sensibles aux champs électromagnétiques, mais en se basant sur les connaissances disponibles, l'importance de l'impact et la relation de cause à effet ne sont pas encore suffisamment claires (Gill *et al.*, 2005; Dong Energy *et al.*, 2006, BERR, 2008).

Les câbles enfouis émettront une certaine quantité de chaleur. A cause de la position profonde des câbles, cela engendrera un réchauffement limité et très local du fond marin à la surface. L'incidence est considérée comme inexistante (épibenthos) voire négligeable (macrobenthos).

0.4.4.2.2 Poissons

Phase de construction

Un certain nombre d'incidences sur les poissons suite à la phase de construction sont similaires à celles décrites pour la partie 'Benthos', comme la perte d'habitat et la perturbation de biotope. La perte d'un organisme sera en revanche limitée étant donné la plus grande mobilité de poissons.

Tous les stades de la vie des poissons seront également temporairement perturbés en retournant les fonds marins, à cause des mouvements subaquatiques et à cause d'autres activités au niveau des fonds marins. Mais il est vraisemblable qu'ils partiront de cet endroit durant les travaux, réduisant ainsi l'incidence pour les organismes sédentaires (IMDC, 2010a). L'incidence négative ne sera donc que temporaire et les organismes reviendront vraisemblablement dans le territoire de projet après la phase de construction. Il est possible que les frayères et les zones de naissance soient perturbées lors de la phase de construction, mais ces zones se rétabliront et deviendront à nouveau attractives lors de la phase opérationnelle. Le perturbation peut en fait également avoir un impact positif : c'est-à-dire la disponibilité accrue des proies en retournant entre autres le sédiment (Grontmij, 2006).

Une perturbation importante lors de la phase de construction, est la production de bruit et de vibrations suite à l'enfoncement (dans le cadre de monopylônes et de fondations de type jacket), à la pose de câbles et au trafic maritime accru. Il n'est en revanche pas évident de déterminer l'importance de la perturbation puisqu'il existe encore beaucoup d'incertitudes concernant entre autres les pertes de transmission et donc également concernant la portée de la nuisance sonore. Cette nuisance peut avoir des incidences significatives (dommages auditifs, saignements, mortalité, changements de comportement) chez certains poissons. Hormis les possibles incidences sur les populations de poissons adultes, les activités d'enfoncement peuvent également avoir des incidences sur les larves de poisson. Selon Prins *et al.* (2008; 2009), l'on peut considérer qu'il y a des cas de mortalité dans un rayon d'1 km autour de la source sonore (le scénario le plus négatif), bien que selon d'autres études, cela doit être nuancé (Bolle *et al.*, 2011).

Malgré l'incertitude, il est clair que l'incidence de l'enfoncement augmentera en fonction du nombre croissant de turbines devant être placées et du diamètre accru du poteau. En se basant sur les ouvrages disponibles, l'incidence de l'enfoncement sur les populations de poisson peut être considérée comme moyennement négative pour les configurations enfonçant les monopylônes ou les fondations de type jacket. Bien que les activités d'enfoncement soient d'une durée relativement courte, le projet faisant appel aux monopylônes ou aux fondations de type jacket, n'est uniquement acceptable à moins d'appliquer un certain nombre de mesures atténuantes et un programme de contrôle dans le but de limiter au maximum les incidences négatives significatives. L'impact du bruit dans le cadre d'une fondation gravitaire est pratiquement inexistant en comparaison avec les autres types de fondation. Ce n'est en effet que la perturbation sonore des bateaux de dragage qui est d'importance et que l'on évalue comme étant plus limitée que le bruit d'enfoncement, que l'augmentation du trafic maritime et que le dépôt de la protection contre l'érosion. Lorsque l'on fait appel au principe de suction bucket n'enfonçant pas les monopylônes et les fondations de type jacket, l'impact du bruit et des vibrations disparaît.

Phase opérationnelle

Comme pour le benthos, l'on ne s'attend pas à des incidences suite à la qualité de l'air, suite au bilan d'oxygène dans l'eau et suite à l'hydrodynamique. Hormis les formes générales de perturbation, l'on examine de près l'incidence du bruit et des vibrations lors de la phase opérationnelle sur les communautés de poissons.

Norro *et al.* (2011) ont démontré qu'il existe une légère augmentation du niveau de la pression sonore au niveau des fondations gravitaires du Thorntonbank par rapport au bruit d'environnement mesuré avant la construction. Une importante augmentation en matière de niveau de pression sonore a été détectée autour des fondations à monopylônes De telles

émissions sonores sont beaucoup plus basses que lors de la phase de construction, surtout lorsque l'enfoncement de poteaux est nécessaire dans le cadre de la phase de construction. Ces émissions sonores opérationnelles surviendront en revanche durant toute la durée de vie du parc éolien.

La plupart des poissons réagissent fortement aux fréquences basses (en-dessous des 50 Hz). Ces fréquences surviennent uniquement dans la zone limitrophe aux éoliennes (max. quelques centaines de mètres). Les fréquences entre les 500-2000 Hz n'auront pratiquement aucune incidence sur les poissons, surtout parce que l'influence des éoliennes est similaire au bruit environnemental (Hoffmann *et al.*, 2000; Thomsen *et al.*, 2006). Le bruit subaquatique causé par les éoliennes sera vraisemblablement masqué au sein de la zone de sécurité (500 m) (pour la plupart des fréquences) par le bruit de fond régnant et n'aura aucune influence sur la plupart des espèces de poissons. Une accoutumance quant au bruit continu émis par les parcs éoliens surviendra également. En cas de vitesses du vent élevées (≥ 13 m/s), l'on s'attend à ce que les espèces de poissons sensibles resteront à une distance minimale de 4 mètres de l'éolienne (Wahlberg & Westerberg, 2005), rendant la présence permanente de poisson sur les pierres déversées difficile. Il ressort également du contrôle effectué au niveau du parc éolien Horns Rev au Danemark que les poissons ne sont pas gênés par le bruit et les vibrations et qu'un certain nombre de nouvelles espèces de poissons se sont même installées dans la zone (Leonhard & Pedersen, 2005). Malgré l'incertitude qui existe au niveau des évaluations quantitatives des incidences sonores sur les poissons durant la phase opérationnelle du parc éolien, l'on peut supposer que ces incidences sont moins importantes et que les améliorations technologiques peuvent engendrer plus de réductions de l'impact. Pour toutes les alternatives de configuration prises en considération, cette incidence est considérée comme étant peu négative.

A cause d'une possible interdiction de certaines activités au sein du domaine, le domaine de concession ne continuera pas à être perturbé d'un autre côté par des formes de pêches destructives (surtout la pêche aux tangons). Ceci aura une incidence positive sur les ressources de pêche (incidence sur le refuge).

Phase de démantèlement

En règle générale, l'on peut affirmer que les incidences de la phase de démantèlement seront similaires à celles de la phase de construction, mais l'intensité d'apparition sera beaucoup plus restreinte. La perturbation sonore significative suite à l'enfoncement (monopylône/ fondation de type jacket) lors de la phase de construction n'est plus présente lors de la phase de démantèlement. La perte de biotope et la perte d'organismes s'y rattachant restent également limitées aux surfaces qui sont effectivement perturbées lors de la phase de démantèlement. Les incidences varient de (quasiment) aucune incidence à une incidence peu négative, en fonction de l'alternative de configuration).

Câblage

Les incidences suite au câblage pour la faune de poissons démersaux sont la perturbation du biotope, la turbidité accrue et l'apparition de champs électromagnétiques. Les incidences de la perturbation de biotope et de la turbidité sont analogues au benthos.

La transmission d'électricité par câbles marins engendrera la production de champs électriques et magnétiques, qui sont également détectables en dehors du câble. Ces champs électromagnétiques dépendent du type de câble et de la puissance du câble. Les champs électromagnétiques peuvent avoir une incidence sur certaines espèces de poissons sensibles, tout particulièrement sur leur comportement en matière d'orientation, de migration et de

chasse, et sur l'aspect général autour des câbles, mais en se basant sur les connaissances disponibles, l'importance de l'impact et la relation de cause à effet ne sont pas encore suffisamment claires. L'incidence est surtout connue et considérée comme importante sur les raies et les requins qui ne surviennent pratiquement pas dans la zone de projet. Sur base de cette donnée, le caractère local de l'incidence et le fait d'enfouir jusqu'à 1 m (câbles de parc) à ≥ 2 m (câble d'export) de profondeur a un effet atténuant (réduction au carré de la profondeur), l'on peut pour l'instant supposer qu'il n'y aura pas d'incidence la faune de poissons à l'échelle de la population.

Les câbles enfouis émettront une certaine quantité de chaleur. A cause de la position profonde des câbles, cela engendrera un réchauffement limité et très local du fond marin à la surface. L'incidence sur les poissons est considérée comme inexistante.

0.4.4.2.3 Oiseaux

Phase de construction

Lors de la phase de construction, les incidences suivantes peuvent engendrer une perturbation significative chez certaines espèces suite aux travaux : l'effet-barrière par la perturbation sonore, la sédimentation et les changements en matière de disponibilité alimentaire.

Lors des travaux, un effet-barrière peut survenir par rapport aux oiseaux migrateurs. Cet effet-barrière sera essentiellement dû à une production sonore à hauteur du domaine de concession et à la présence de bateaux. Les espèces sensibles aux perturbations peuvent éviter la zone temporairement à cause du bruit, alors que d'autres espèces peuvent peut-être tirer profit des travaux grâce à l'apparition temporaire d'aliments suite au sol retourné et à l'activité maritime accrue (Stienen *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006). Le Blighbank n'est cependant pas très important pour ces espèces sensibles aux perturbations (Vanermen & Stienen, 2009). Ce qui fait qu'en règle générale aucune incidence négative de taille est prévue.

En faisant appel à des fondations gravitaires, une grande quantité de sable doit être draguée et déplacée. A cause de la montée de sédiment du fond, des espèces d'oiseaux chassant à vue comme les sternes peuvent avoir des difficultés en fourrageant. L'incidence n'est cependant que temporaire et limitée au niveau de l'étendue. L'on ne s'attend par conséquent pas à des incidences négatives significatives quant aux oiseaux marins chassant à vue. L'incidence est évaluée comme étant peu négative.

L'enfoncement peut avoir des incidences négatives sur les larves des poissons. Le recrutement des espèces concernées peut être influencé et peut réduire l'alimentation des espèces d'oiseaux mangeant du poisson. Cela peut avoir une légère incidence négative sur les oiseaux.

Phase opérationnelle

Lors de la phase opérationnelle, les oiseaux peuvent être gênés de différentes manières par les éoliennes. Ils peuvent tout d'abord toucher les turbines et être tués ou blessés (aspect de collision). Les oiseaux peuvent également être perturbés par les turbines. Ici, il faut faire une distinction entre les incidences directes sous forme de disparition de zones de repos et de territoires fourragers, de limitation des routes de vol des oiseaux et les incidences indirectes par la perturbation, par la présence, par le mouvement ou par le bruit des turbines (aspect de perturbation) (Stienen *et al.*, 2002).

En ce qui concerne l'aspect de collision, cette incidence est surtout déterminée par la quantité d'oiseaux qui y passent (flux) et par la hauteur de vol. Sur base des résultats de contrôle déjà disponibles (Vanermen & Stienen, 2009), l'on peut s'attendre à ce que ce le risque de collision s'applique surtout aux grandes mouettes (goéland marin, goéland brun, goéland argenté) (risque d'1/500) à cause de leur grande taille et de la hauteur de vol. D'autres espèces comme le grand stercoraire et le fou de Bassan risquent également une collision à cause de leur grande taille et faible flexibilité. Le mergule et le guillemot ne volent jamais à hauteur du rotor. En se basant sur les résultats de contrôle actuels, l'on ne s'attend pas à de grandes différences quant à la collision en fonction du type d'éolienne. L'on peut par contre penser que plus il y a de turbines, plus le risque de collision est important.

Lors des études de contrôle au niveau du Thorntonbank et du Blighbank en 2010 et 2012, des incidences significatives étonnantes ont été constatées suite à la présence d'éoliennes offshore (Vanermen *et al.*, 2011, 2012). Le nombre de sternes ordinaires et de sternes caugek (Mouette pygmée, Goéland marin, Mouette tridactyle, Sterne pierregarin and Sterne caugek) a en effet augmenté au sein de la zone d'impact depuis la construction des premières turbines. Cela vaut également pour le goéland cendré et le goéland argenté au niveau du Blighbank alors que le nombre de Guillemot de Troïls et de Fou de Bassan du Nord a significativement diminué. Cependant au moment de ces études, seules 6 des 54 éoliennes prévues étaient construites sur le Thorntonbank. Ces résultats doivent donc être considérés comme très provisoires. L'attraction des oiseaux par rapport au parc éolien peut en revanche engendrer une incidence négative quant au risque de collision.

En ce qui concerne l'Annexe I espèces d'oiseaux, le risque de collision pour les sternes ordinaires et les sternes caugek est limité. En se basant sur la faible sensibilité aux perturbations et sur le fait que la mouette pygonée vole relativement bas au-dessus de l'eau, l'on peut s'attendre à ce que l'implantation prochaine des éoliennes offshore au niveau du trajet migratoire de cette espèce n'ait également qu'un impact limité.

Phase de démantèlement

L'on s'attend à ce que les incidences lors de la phase de démantèlement soit de la même nature que celles lors de la phase de construction. Elles peuvent par conséquent être évaluées comme peu négatives.

Câblage

La pose de câbles peut perturber temporairement la faune aviaire. Les deux alternatives de câble traversent toutes les deux SBZ-V3 Zeebrugge. La réserve marine 'Baai van Heist' et la SBZ-H Vlakte van de Raan (mention européenne) sont épargnées. Etant donné que ces incidences ne sont que temporaires et limitées en importance, elles sont évaluées comme étant peu négatives. Lors des travaux de mise à terre du câble de C-Power à Oostende, de grandes perturbations ont également été constatées (BMM, 2009).

La présence des câbles lors de la phase opérationnelle n'aura vraisemblablement aucune incidence directe sur les oiseaux marins.

0.4.4.2.4 Mammifères marins

Phase de construction

Lors de la phase de construction, les mammifères marins peuvent être gênés par les changements en matière de disponibilité alimentaire, la perturbation suite à différentes

activités de construction, le trafic maritime accru et par la perturbation engendrée par les vibrations et les bruits suite aux travaux d'enfoncement et de dragage.

La construction de parcs éoliens peut influencer les sources alimentaires, rendant les territoires moins attractifs pour les mammifères marins. C'est ainsi que le son produit par l'enfoncement des monopylônes ou de fondations de type jacket peut faire fuir les poissons jusqu'à quelques kilomètres de la source sonore. Les mammifères marins peuvent quitter (temporairement) la zone à cause de la faible disponibilité alimentaire ou parce que la zone n'est plus adaptée comme territoire de couvaison (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005).

Etant donné le nombre restreint de transports supplémentaires en comparaison avec le nombre actuel de mouvements de bateau déjà présents au sein de la PBMN (surtout au niveau des routes maritimes), et étant donné l'influence non permanente, l'on ne s'attend pas à des incidences négatives complémentaires sous forme de perturbation attendue suite aux activités générales de construction du parc éolien (BMM, 2011). L'on suppose que les mammifères marins vont quitter le site et la zone limitrophe où les activités de construction ont lieu, vont éviter temporairement le site et qu'après la finalisation de la phase de construction ils retourneront au parc éolien.

En ce qui concerne la perturbation sonore, l'on suppose que l'enfoncement des monopylônes et des fondations de type jacket auront une incidence négative significative sur les mammifères marins se trouvant à proximité des endroits d'enfoncement. Les facteurs déterminants pour l'apparition d'incidences sur les mammifères marins suite aux activités d'enfoncement sont le niveau de pression sonore de la source (qui dépend fortement du diamètre et de la longueur du poteau et donc également du type de fondation), la profondeur de l'eau et les caractéristiques du sol sur place (déterminant pour la propagation du bruit), la durée des activités d'enfoncement et la période durant laquelle ces activités ont lieu. Une telle perturbation peut faire fuir les marsouins et d'autres mammifères marins des zones les plus adaptées à leur alimentation. Etant donné la densité saisonnière élevée de marsouins dans les eaux belges, et les distances où des perturbations peuvent survenir, l'on peut s'attendre à des changements de comportement pour des centaines voire des milliers d'animaux. Bien que les activités d'enfoncement soient d'une durée relativement courte, le projet faisant appel à des monopylônes ou des fondations de type jacket est uniquement acceptable à moins d'appliquer un certain nombre de mesures atténuantes et un programme de contrôle afin de réduire au maximum les risques de dommages auditifs et d'autres incidences négatives significatives chez les mammifères marins. Contrairement aux monopylônes et aux fondations de type jacket, les fondations gravitaires ne font pas appel à des poteaux enfoncés, ne produisant pas de sons 'impulsifs' d'un niveau sonore élevé. Même si la technique de suction est utilisée, le niveau sonore sera particulièrement bas.

Phase opérationnelle

Lors de la phase opérationnelle, des incidences sur les mammifères marins peuvent survenir suite à des vibrations et à des bruits venant des éoliennes, tout comme la perte d'habitat suite à la présence physique d'un parc éolien, la perturbation par des travaux d'entretien et des changements au niveau des sources alimentaires disponibles.

Les mammifères marins disposent d'un système de sonar avancé qui leur permet de naviguer et de chasser sans devoir utiliser d'autres sens (écholocalisation). Cette écholocalisation pourrait être perturbée par le son venant des éoliennes opérationnelles (Bach *et al.*, 2000). Le son des éoliennes opérationnelles peut être entendu par les marsouins jusqu'à une distance d'environ 50 m (Henriksen *et al.*, 2003), par les phoques jusqu'à une distance d'1 km (Dolman

et al., 2003). L'on ne s'attend cependant pas à ce que les incidences soient détectables à grande distance, et qu'étant donné leur niveau continu, elles perturbent les mammifères marins dans la zone limitrophe au parc (Tougaard *et al.*, 2008).

Lors de la phase opérationnelle, il est éventuellement possible qu'il y ait une augmentation du nombre de mammifères marins dans le parc ou dans la zone limitrophe au parc, à cause de la disparition de la pêche dans la zone, de la disponibilité alimentaire accrue et à cause de la présence de substrats durs. Cette incidence sera la plus importante au niveau des fondations gravitaires suite à la grande superficie de la protection contre l'érosion.

Phase de démantèlement

L'on s'attend à ce que les incidences lors de la phase de démantèlement dans le pire des cas soient similaires à celles de la phase de construction et qu'il y ait par conséquent une perturbation des mammifères marins. Comme l'on ne procède pas à des activités d'enfoncement et de dragage durant la phase de démantèlement et que les substrats durs sont normalement laissés, cette perturbation aura une incidence moins négative que durant la phase de construction. Le démantèlement est évalué comme peu négatif pour les mammifères marins.

Câblage

La pose de câbles durant la phase de construction peut avoir un effet perturbateur sur les mammifères marins. Cette incidence n'est cependant que temporaire, limitée en importance et par conséquent considérée comme peu négative. Après la pose du câble, l'environnement se rétablira. Les connaissances concernant l'impact de champs électromagnétiques sur les mammifères marins sont jusqu'à présent limitées. Le risque que les mammifères marins soient exposés à ces champs électromagnétiques est cependant restreint.

0.4.4.2.5 Substrats durs

Phase de construction

L'introduction du substrat dur, ce qu'on appelle l'effet récif, dans les zones marines qui sont quasiment essentiellement composées de sédiments sableux, peut être considérée comme la principale incidence de la construction du parc éolien (Dong energy *et al.*, 2006). Cela engendrera une augmentation de l'hétérogénéité de l'habitat, et la création d'une nouvelle communauté propre aux substrats durs. La superficie totale de substrat dur qui devient potentiellement disponible dépend du nombre de fondations (turbines), du type de fondation, des dimensions de la fondation (du diamètre, de la partie subtidale et intertidale) et des caractéristiques de la protection contre l'afouillement (dimensions, situation par rapport au fond marin).

En ce qui concerne les différentes alternatives de configuration, la superficie totale du substrat variera entre environ 69.500 m² (conf. de base, MP) et 277.000 m² (conf. 1, GBF). En optant pour des fondations gravitaires, cela engendre une augmentation de nouvelles zones potentielles devant être colonisées, ce qui est imputable aux dimensions plus importantes en matière de protection contre l'affouillement.

Il ressort des premiers résultats de contrôle de C-Power (Kerckhof *et al.*, 2009; 2010, 2011 et 2012) que le processus de colonisation se déroule vite intensément. Une grande diversité est en outre constatée en comparaison avec les autres substrats artificiels dans les environs. Une zone de moules se créera vraisemblablement et des huitres et des sédentaires s'y installeront. Des études à long terme montrent que cela peut prendre certainement 5-6 ans avant qu'une

communauté stable soit installée et dominée par des organismes filtrants (entre autres des moules) et des algues brunes et des algues rouges permanentes (Jensen *et al.*, 2000; Leonhard & Pedersen, 2005).

En fonction de la perspective, cette incidence peut être évaluée de manière positive (entre autres la biomasse et la diversité accrues, attraction pour les poissons) comme de manière négative (entre autres la perturbation de l'habitat naturel, attraction des espèces non indigènes). L'importance de l'impact, que l'évaluation soit positive ou négative, est difficilement évaluable pour les parcs éoliens offshore en mer du Nord. La superficie totale du substrat dur dépend fortement du type de fondation (avec ou sans la protection contre l'affouillement), de la complexité de la fondation et du nombre de turbines. Il est clair que la superficie de substrat dur introduit est plus importante en cas de fondation gravitaire que par rapport à un monopylône, ET dans ce cas l'on opte pour la configuration 1 (nombre de turbines plus important). Bien qu'une protection contre l'affouillement ne soit pas nécessaire pour les fondations de type jacket, elles pourraient tout de même attirer bon nombre d'organismes à cause de la structure plus complexe. La partie effectivement disponible en matière de colonisation par les organismes est – quel que soit le type de fondation- cependant limitée étant donné qu'aussi bien les fondations que la protection contre l'affouillement sont partiellement ou entièrement enfouis à cause du biotope sableux présent. L'on peut donc s'attendre à ce que malgré la modification par rapport à la situation originale, l'incidence soit considérée comme étant acceptable (0/- ou 0/+) puisque la superficie disponible destinée au développement d'une nouvelle communauté est relativement restreinte par rapport à la PBMN (≤ 0,01%).

Phase opérationnelle

Lors de la phase opérationnelle, les possibles incidences de substrats durs resteront limitées aux changements de la situation hydro-physico-chimique de la zone de projet et à une perturbation sonore possible des turbines tournantes, comme cela a été analysé pour le benthos.

Phase de démantèlement

Le démantèlement du parc éolien engendrerait la disparition presque totale des substrats durs. L'on peut se poser la question de savoir si cela doit être évalué de manière positive ou négative puisque d'une part l'état d'origine des substrats sableux est ainsi obtenu, mais que d'autre part cela engendre la perte de la biodiversité et d'autres possibles fonctions effectuées par le récif artificiel durant l'exploitation (par ex. lieu d'incubation, stepping-stone, attraction pour certains organismes). L'incidence en la matière ne peut en revanche pas encore être évaluée étant donné que pour l'instant seuls des résultats initiaux sont disponibles concernant l'incidence de l'introduction de substrats durs au sein d'un environnement principalement sableux.

Câblage

Les principales incidences suite au câblage de l'épibenthos et de la faune de poissons démersaux de substrats durs sont la perturbation du biotope, une turbidité accrue, la création de champs électromagnétiques et le possible réchauffement. Celles-ci sont similaires à celles analysées pour le benthos et les poissons.

0.4.4.3 Mesures atténuantes

0.4.4.3.1 Benthos

En ce qui concerne l'installation de fondations et la pose de câbles, la meilleure technologie disponible doit être utilisée afin de perturber le moins possible le fond marin. Les matériaux de construction et les deversements de pierres doivent le plus possible être constitués de matériaux naturels et ne contiendront pas de déchets ni de matières premières secondaires. Le remplissage des puits de fonction et le déversement de sable dragué pour les câbles doit le plus possible se faire à l'aide de sable de la même qualité que le sable d'origine. Après les travaux, il est préférable que le site se rétablisse.

Afin de réduire au maximum l'incidence, il faut lors de la pose de câbles chercher à réunir les tracés de câbles des différents parcs éoliens et de les connecter à la côte via la plateforme Alpha. Dans le cas où les câbles d'exportation doivent être connectés directement à la côte, le tracé de câbles des parcs éoliens offshore existants sera suivi du mieux que possible si cela ne pose pas de problèmes techniques ou si cela n'altère pas la sécurité (par ex. manque de place).

0.4.4.3.2 Poissons

Les mesures atténuantes et les compensations mentionnées dans le cadre du benthos restent également d'application. L'importance de la zone de projet comme frayère et zone de couvaison reste incertaine. Si cela est le cas, il faut alors tout mettre en phase afin d'effectuer les travaux de construction les plus perturbateurs si possible en dehors des périodes les plus vulnérables.

0.4.4.3.3 Oiseaux

Lors de l'évaluation des incidences, les incidences importantes suivantes ont été décrites : l'effet-barrière, l'aspect de collision et la perte d'habitat. Pour ces incidences, des mesures atténuantes sont proposées qui ont également été reprises dans les précédents RIE (RIE Norther, RIE Northwind, RIE Belwind, le RIE de C-Power et le RIE de Rentel) : une configuration respectueuse des oiseaux, l'utilisation de signaux sonores ou de signaux visuels et la mise hors service des turbines durant les périodes caractérisées par un nombre accru de mouvements de vol (par exemple la période de migration) ou dans de mauvaises conditions visuelles. Egalement en ce qui concerne les travaux, il vaut mieux les effectuer en dehors des périodes de grandes concentrations d'oiseaux ou de probable présence accrue de mammifères marins (Stienen *et al.*, 2002).

0.4.4.3.4 Mammifères marins

Bien que les activités d'enfoncement soient de durée relativement courte, le projet faisant appel aux monopylônes ou aux fondations de type jacket est uniquement acceptable à moins d'appliquer un certain nombre de mesures atténuantes et un programme de contrôle. L'utilisation d'un moyen de dissuasion sonore et l'application d'une procédure de 'ramp-up', au sein de laquelle une force minimale progressive est utilisée lors des premiers enfoncements est une possible mesure. L'efficacité d'un bon nombre de mesures atténuantes est cependant fortement mise en cause (Boon *et al.*, 2010). Il est par conséquent avisé de réaliser des études quant à cette efficacité.

0.4.4.3.5 Substrats durs

Tout comme pour les mesures atténuantes du benthos, l'accent est préliminairement mis sur des stratégies de contrôle qualitatives et sur des études scientifiques supplémentaires.

0.4.5 Vue sur la mer et patrimoine culturel

0.4.5.1 La situation de référence et le développement autonome

La mer du Nord semble être une surface d'eau uniforme qui s'étend jusqu'à l'horizon et est un des rares paysages intacts de la Belgique. Son importance écologique est importante. Un horizon libre, comme paysage unique, est une valeur naturelle importante de la mer du Nord. La vue sur la mer est dans la plupart des endroits libre à partir de la ligne côtière belge. La vue sur la mer est sans aucun doute un élément d'attraction touristique important de la côte belge. Lorsqu'il y a une bonne visibilité, il est possible de suivre le trafic maritime jusque loin en mer. A proximité des ports, il y a en général plus d'activités à cause entre autres des bateaux à conteneurs, des bateaux de plaisance, des bateaux de pêche et des dragueurs rentrant et sortant du port. En observant à partir de la zone côtière les terres intérieures, l'image principale de la côté belge est celle d'une bande étroite de constructions en hauteur serrées de 67 km de long qui sépare de manière abrupte la mer et les polders.

Le patrimoine culturel de la mer est essentiellement composé d'épaves. En se basant sur les banques de données concernant les épaves et sur l'inventaire des épaves réalisé dans le cadre du projet GAUFRE (Maes *et al.*, 2005), on peut conclure qu'il n'y a aucune épave dans la zone de concession SeaStar. Le long des deux tracés alternatifs du câble d'exportation, il n'y a pas d'épave non plus. Hormis les épaves, les paysages paléolithiques inondés suscitent un intérêt grandissant en tant que nouvel élément du patrimoine culturel. C'est ainsi qu'il y aurait des restes (retravaillés) des îles moyenâgeuses de Wulpen, Koezand et Waterdunen à hauteur de l'actuelle banc de sable 'Vlakte van de Raan' (Pieters *et al.*, 2010, Mathys, 2009).

Sur terre, le patrimoine culturel est composé de paysages et de restes de paysages traditionnels. Il s'agit entre autres des territoires des dunes et des polders, de l'IJzermonding et du Zwin avec sa valeur exceptionnelle en matière de paysage et d'écologie en tant que zone de laisse et de limon.

En ce qui concerne le développement autonome, la construction (continue) des parcs éoliens actuellement autorisés (C-Power, Belwind, Northwind, Norther et Rentel) continuera à modifier la vue sur la mer. L'impact de ces parcs éoliens sur la vue sur la mer à partir de la côte dépend essentiellement du parc éolien jusqu'à la ligne côtière. Hormis la construction de parcs éoliens, la vue sur la mer pourrait être modifiée par les développements dans le secteur maritime. La croissance des ports et la demande en matière de bateaux plus importants pourraient modifier l'image existante. En ce qui concerne le développement autonome du patrimoine culturel, l'on peut affirmer qu'actuellement aucun développement n'est prévu à terre pouvant modifier le patrimoine culturel.

0.4.5.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.5.2.1 Phase de construction

Comme le parc éolien sera construit à une grande distance en mer, les activités de construction ne seront presque pas visibles. L'incidence des activités de construction quant à la vue sur la mer perçue par les touristes et les habitants sera restreinte et négligeable. Il faut en outre ajouter qu'au moment de la réalisation du parc éolien Rentel, d'autres éoliennes dans des zones plus proches de la côte auront déjà été réalisées pouvant encore limiter plus l'impact visuel des turbines dans les zones plus lointaines.

Les activités de préparation sur la terre (comme entre autres le montage préalable des turbines et d'autres éléments du parc éolien) dans un port limitrophe, auront bien au niveau local un impact visuel temporaire; la présence du matériel et les travaux peuvent temporairement être considérés comme une activité touristique. L'expérience négative due à la perturbation de la quiétude des habitants équivaut à l'expérience positive pour les touristes. Dans son intégralité, cette activité peut être considérée comme neutre au niveau visuel grâce au caractère temporaire et aux incidences potentiellement positives.

0.4.5.2.2 Phase opérationnelle

Le parc éolien SeaStar se trouve à une distance de 3 km de la côte belge. Etant donné qu'il se trouve derrière d'autres parc éoliens, la vue du parc éolien SeaStar est bloquée par les parcs de Norther, de C-Power, de Rentel et de Northwind. La vue à partir de la côte avec ou sans les turbines SeaStar ne changera pas en réalité.

Il ressort d'une enquête récente (Grontmij, 2010) que seulement 6 sur les 1.000 répondants trouvent les éoliennes du port de Zeebrugge dérangeantes (5%) alors qu'il n'y a que 3 personnes (2,5%) qui disent la même chose au sujet des éoliennes en mer. En regardant une photo montrant une simulation de la vue sur les 3 futurs parcs éoliens (C-Power, Northwind et Belwind) à partir de la plage de Blankenberge, presque 78% des répondants ont considéré cette vue comme étant (très) acceptable (Grontmij, 2010). Un choix bien pensé de la disposition des éoliennes et le modèle et l'orientation du parc éolien constituent des facteurs pouvant influencer positivement l'expérience et l'acceptabilité des parcs éoliens sur mer. Le fait d'informer le grand public peut contribuer de manière positive à l'acceptabilité d'un projet et est considéré comme une valeur ajoutée.

En ce qui concerne la délimitation et l'illumination, l'on respecte les directives IALA et ICAO tout comme les directives supplémentaires pouvant être édictées par les autorités compétentes.

L'exploitation du parc éolien n'aura vraisemblablement aucune incidence directe ou indirecte quant au patrimoine culturel (maritime). La localisation exacte de restes de mammifères fossiles autour du Thorntonbank constitue une lacune au niveau des connaissances. L'incidence de la construction du parc éolien SeaStar sur les restes archéologiques ne peut pas être déterminée.

0.4.5.2.3 Phase de démantèlement

Les incidences quant à la vue sur la mer et au patrimoine culturel seront durant la phase de démantèlement similaires à celles durant la phase de construction.

0.4.5.2.4 Câblage

La pose de câble(s) d'exportation du parc éolien vers la côte peut avoir un impact sur le patrimoine culturel maritime étant donné que le long des tracés alternatifs plusieurs épaves (connues) sont présentes. Lorsqu'on essaie d'éviter au maximum les épaves de bateau, l'incidence sur le patrimoine culturel maritime est limitée au maximum.

0.4.5.3 Mesures atténuantes

En informant au préalable le grand public, cela peut contribuer de manière positive à l'acceptabilité de l'influence de la vue sur la mer par le parc éolien.

Afin d'éviter l'endommagement des épaves, il est indiqué d'effectuer avant la construction du parc éolien et de la pose du/des câble(s) d'exportation un side scan sonar survey (ou une observation similaire), ou d'au moins faire appel à des données déjà disponibles des études effectuées dans le cadre de la pose d'autres câbles d'exportation.

0.4.6 Interaction avec d'autres activités humaines

0.4.6.1 Situation de référence et développement

Au sein des territoires marins belges, les activités humaines équivalent surtout à des activités économiques. Bon nombre de ces activités utilisent les zones spéciales qui ont été délimitées ou déterminées en ce sens, comme la pêche, la mariculture, la navigation, l'extraction de sable et de gravier, le dragage et les déblais de dragage, l'énergie éolienne, l'utilisation, militaire, les conduites de gaz et les câbles de télécommunications, le tourisme et la récréation, et les recherches scientifiques.

Le domaine de concession se situe entièrement endéans cette zone pour la construction et les exploitations d'installations pour la production d'électricité issue de ressources renouvelables (AR 17/05/2004, modifié par l'AR 03/02/2011). Il est également stipulé que cette activité est prioritaire à toutes les autres activités pouvant avoir lieu dans cette zone. Les tracés de câble alternatifs avec atterrages à Zeebrugge traversent la Zone de protection spéciale à Zeebrugge (SBZ-V3) et la route maritime 'Het Scheur'.

Dans ce compte-rendu non technique, seules les activités étant réellement réalisées au sein du domaine de concession seront abordées. Comme il n'y a pas d'interactions potentielles avec d'autres activités dans la zone limitrophe ou plus loin dans la PBMN, ces activités ne seront pas abordées de manière détaillée. Le chapitre s'y rattachant abordera la question.

0.4.6.1.1 Pêche

Les principales espèces pêchées sont les crevettes et les espèces de poissons démersaux comprenant surtout la sole, la raie et la plie (Tessens & Velghe, 2011; Vanderperren & Polet, 2009). La pêche au cabillaud, au merlan et à la limande est moins importante. L'intensité de la pêche se focalise plus sur les canaux entre les bancs de sable que sur les bancs de sable. Alors que la pêche à la crevette s'orientera plus sur les bancs de sable et a principalement lieu dans les zones se trouvant plus proches de la côte.

En 2011, la flotte de pêche belge comptait 86 navires de pêche. D'un point de vue socio-économique, l'importance de la PBMN est assez restreinte pour la pêche belge. Presque 65% de la pêche belge vient de la zone centrale et australe de la mer du Nord. Aussi bien au niveau international que national, le secteur de la pêche a en revanche des problèmes socio-économiques d'une part à cause de la baisse progressive de la biomasse existante dans les niveaux trophiques supérieurs du territoire nord-atlantique depuis 1950, et d'autre part à cause d'une intensité poissonnière accrue entre 1950-1975. Des chercheurs ont conclu que l'exploitation actuelle du poisson ne peut pas continuer de la sorte et que le niveau trophique supérieur des poissons aura complètement disparu dans quelques décennies au niveau de la zone nord-atlantique (Dickey *et al.*, 2010). Cela est également étayé par le fait que la réserve de poisson de presque toutes les espèces est catégorisée comme 'en dehors des limites biologiques sûres'.

Cette tendance presque quasiment identique au sein de la pêche belge. Un apport accru a uniquement été identifié entre 1950 et 1955, après quoi une baisse progressive au niveau de l'apport et de la taille de la flotte a été notée. Depuis le début des années '90, l'apport total des navires de pêche belge baisse de manière quasiment interrompue et s'élève aujourd'hui à environ la moitié du volume d'il y a 20 ans.

0.4.6.1.2 Câbles et pipelines

Le domaine de concession est uniquement traversé par le câble de télécommunication Rioja hors service. La distance de sécurité prescrite s'élève normalement à 250 m, mais comme Roija n'est plus utilisé, une distance de sécurité de 50 m peut être utilisée en ce qui concerne les différentes configurations d'implantation des turbines. Aucun conduit de gaz ne se trouve dans la zone de concession SeaStar.

Les deux alternatives proposées pour le câble d'exportation vers Alpha et Zeebrugge croiseront différents câbles de télécommunication et des conduites de gaz.

0.4.6.1.3 Extraction du sable et du gravier

Depuis 2004, les zones de concession pour l'extraction des agrégats ont été modifiées par l'AR 01/09/2004 et the AM 24/12/2010 maintenant qu'il existe à présent quatres « zones de contrôles »

Le tracé de câble vers le rivage se trouve à l'ouest de la limite occidentale du domaine de concession belge. A cet endroit, il y a cependant un chevauchement entre la zone de concession belge et la zone de concession 1A destinée à l'extraction de sable et de gravier. Cette zone de concession n'est cependant pas souvent utilisée et est composée en grande partie d'une zone de contrôle où il n'y a pas d'extraction.

Dans un futur proche, les quantités de sable extrait vont considérablement augmenter entre autres dans le cadre du Masterplan Kustveiligheid qui comprend entre autres le Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (GKVP), l'OW-plan Oostende et le projet du Zwin.

0.4.6.2 Description et évaluation des incidences environnementales

0.4.6.2.1 Pêche

La perte potentielle d'accès aux zones de pêche traditionnelles est en général considérée comme l'incidence négative la plus importante du développement de projets éolien en mer (Mackinson *et al.*, 2006). La perte de territoires de pêche peut engendrer des pertes de revenus et le chômage. A cause du manque de données financières spécifiques, l'on a déjà évoqué qu'une analyse économique détaillée est difficilement réalisable. Le parc éolien SeaStar engendrera une perte maximale supplémentaire en matière de territoires de pêche (env. 0,6% de la PBMN). Etant donné la superficie limitée (20,3 km²) et le fait que la zone de projet n'ait qu'une importance limitée pour la pêche, cette perte directe peut être considérée comme négligeable. L'impact pour la pêche suite au parc éolien décrit est donc relativement restreint et est en outre bien moins pertinent que la perte de revenus suite aux prix fluctuants du carburant et aux limitations imposées par la politique européenne en matière de pêche.

Lorsque toute la zone de concession pour les parcs éoliens est utilisée (240 km²), cela correspond environ à 7% de la PBMN interdisant la pêche. Malgré la perte plus importante en comparaison avec uniquement le parc éolien SeaStar, on peut évaluer cette perte directe

comme relativement restreinte en suivant la même logique exposée plus haut. La petite flotte vit essentiellement de la pêche dans la zone des 12 miles, et le domaine de concession ne chevauche que très partiellement cette zone.

Hormis la perte spatiale, les pêcheurs se font du souci quant aux incidences à court et à moyen terme lors de la phase de construction et de la phase opérationnelle. Lors de la phase de construction, l'on considère l'enfoncement des poteaux (lors du choix monopylône/ fondation de type jacket) comme étant la principale raison pour les changements au niveau de la pêche, alors que l'installation de fondations (en optant pour la fondation gravitaire) et la pose de câbles engendreront la perturbation de sédimentation. Les principales incidences lors de la phase opérationnelle sont les changements au niveau de la pêche suite à l'introduction de substrats durs.

Hormis ces incidences négatives sur la pêche, le développement du parc éolien engendre également des opportunités, c'est-à-dire la création des lieux d'incubation et des zones naturelles protégées. L'interdiction de pêcher au sein d'un territoire empêchera en outre inévitablement l'influence perturbatrice du chalut retournant le fond et attrapant les organismes (Dayton *et al.*, 2002; Lindeboom 2002).

Il y a pour finir l'incidence positive d'un territoire fermée à la pêche dans la zone en question. Il ressort d'une étude scientifique (Roberts *et al.*, 2001) que des petites réserves (10-25 km²) marines peuvent également avoir une influence positive significative sur la pêche dans les environs. Cette influence peut engendrer une hausse importante (46-90%) des prises dans les zones limitrophes durant une période relativement courte de cinq ans. Bien que l'applicabilité de ces données dans le cas spécifique de la PBMN doit encore être prouvée, il existe un important consensus au sein du monde scientifique concernant le 'spill-over effect' des territoires marins protégés, qui au sein d'un réseau de réserves marines peut être encore plus intense.

0.4.6.2.2 Câbles et pipelines

Comme au sein du territoire de concession, la zone de sécurité requise (réduite) par rapport au câble de télécommunication Rioja est respectée, l'on peut considérer qu'il n'y aura aucune incidence sur les câbles et les pipelines suite à l'implantation et à l'exploitation du parc éolien.

Le câble d'exportation devra en fonction de l'alternative choisie croiser les différents câbles de télécommunication, la conduite de gaz Interconnector et les câbles d'exportation des parcs déjà réalisés. L'on s'attend toutefois à ce que les mesures nécessaires soient prises afin d'éviter l'endommagement des câbles et des pipelines.

0.4.6.2.3 Extraction de sable et de gravier

Le domaine de concession SeaStar se trouve à une distance suffisante des zones de contrôle. La route occidentale proposée pour le câble d'exportation à la limite de la zone de concession belge se trouve en revanche également à la limite de la zone de contrôle 1A. A cet endroit, il n'y a que peu d'extraction et cet emplacement est surtout prévu comme territoire de référence pour les activités éoliennes. L'on ne s'attend par conséquent pas à des conflits et l'incidence du parc éolien sur l'extraction de sable et de gravier peut être considérée comme inexistante.

0.4.6.3 Mesures atténuantes

Aucune mesure atténuante ni compensation est proposée lors du développement du parc éolien SeaStar en ce qui concerne les autres utilisateurs.

0.4.7 Risques et sécurité

La description de la situation de référence et l'analyse des incidences pour le trafic maritime, la pollution d'huile et pour la communication de navire sont abordées dans la partie 'incidences cumulatives' (paragraphe 0.4.9 du résumé non technique).

Ce chapitre abordera uniquement les aspects de la sécurité des installations.

0.4.7.1 Situation de référence et développement autonome

Cette partie aborde brièvement les risques en matière de sécurité des installations elles-mêmes et les conséquences éventuelles d'un incident. L'identification des risques en matière de sécurité liés à l'infrastructure du parc éolien est basée sur des données d'ouvrages spécialisés. Les risques décrits valent pour toutes les alternatives de configuration. Les risques de travail ne sont pas traités dans le RIE.

A l'heure actuelle, il n'y a pas encore d'installations à hauteur du domaine de concession SeaStar.

0.4.7.2 Description et évaluation des incidences environnementales

Les éoliennes sont aujourd'hui soumises à différents systèmes de classification. Cela vaut également pour les éoliennes du présent projet. Afin d'appartenir à une certaine classe, les turbines sont certifiées dans leur intégralité et au niveau de leurs éléments (pales, gondole, installation électrique, mât, fondation…). Les éoliennes disposent d'une certification type conforme à l'IEC 61400 ou à quelque chose de similaire.

Il ressort de la valeur d'anticipation recommandée par SGS que la fréquence de défaillance est la plus élevée pour les petits éléments de la gondole, soit 0,0012 par an, ce qui équivaut à une fois tous les 833 ans. Pour les autres éléments le risque de défaillance est encore plus bas. Ce risque est donc particulièrement restreint et les incidences en matière de défaillance des installations sont acceptables.

En ce qui concerne la sécurité, il est important de vérifier dans quelle mesure les objets et les activités se trouvant à proximité des turbines, peuvent être touchés par exemple par une pale de rotor cassée. La distance de rejet maximale durant une situation dépassant le mode de fonctionnement normal semble pour une éolienne de 3 MW être d'environ 440 m. Du fait de l'augmentation non-linaire limitée du rejet maximal entre les turbines de 1 MW, 2 MW et 3 MW, l'utilisation d'une distance de sécurité de 500 m autour de la zone de la concession sera suffisante pour couvrir les zones de rejet de turbines entre 4 MW et 10 MW (cf. AR 11/04/2012).

Des précautions afin de protéger l'environnement appartiennent à l'équipement standard des de éoliennes et de l'OHVS. La fuite de liquides (huile, graisses, etc.) venant des installations est évitée ou limitée par la présence de différents systèmes de récupération (bacs de récupération, rebords, encuvages) tout comme par le mode de construction des parties des installations. Ceci n'est pas le cas lorsqu'une éolienne tombe suite à des conditions climatiques extrêmes ou suite à une collision par des bateaux. Dans ce cas, lorsque les

réservoirs ou les conduites cassent ou se déchirent lors de l'accident, les huiles et les graisses présentes dans la turbine peuvent se libérer et se répandre dans l'environnement. Etant donné la classification existante et les systèmes de certification, le risque qu'une turbine tombe d'elle-même durant la durée de vie du projet n'est pas inexistant mais est très faible. La quantité d'huiles présentes dans la turbine s'élève environ à 1.000 litres par turbine (armoire de roue dentée, système hydraulique). L'on réfère en ce qui concerne une description des risques et des incidences par collision/propulsion des éoliennes par les bateaux à la partie 'incidences cumulatives' (paragraphe 0.4.9 du résumé non technique).

Un autre risque environnemental est le feu. Lorsqu'un incendie se déclare dans la nacelle d'une éolienne ou dans une station haute tension offshore, des gaz toxiques et des substances nuisibles à l'environnement peuvent être dégagés.

0.4.7.3 Mesures atténuantes

Là où dans le cadre de fuites des quantités significatives d'huile ou de graisse sont déversées en mer, des capteurs adéquats peuvent être prévus aux endroits indiqués tout comme des inspections régulières afin de détecter rapidement les fuites.

Lorsque suite à une défaillance ou un accident, des matériaux ou des matières se retrouvent en mer formant une menace pour l'environnement, il faut essayer d'enlever le plus rapidement possible ces matériaux ou ces matières et de les traiter ou bien de les dépoter selon la réglementation en vigueur.

0.5 INCIDENCES CUMULATIVES

0.5.1 Introduction

Les possibles incidences d'une combinaison de plusieurs éoliennes peuvent de concert avec d'autres activités humaines en mer engendrer une accumulation d'incidences. Il peut s'agir d'une addition relativement simple de toutes les incidences des activités séparées, mais il est également possible que certaines incidences se renforcent ou s'éliminent partiellement ou entièrement. Pour finir, il est également possible que des incidences séparées doivent bien être comptabilisées, mais que cela n'engendre aucun problème significatif en ce qui concerne la vie sur et en mer et les habitats concernés, jusqu'à ce qu'un seuil inconnu soit dépassé, après quoi des problèmes significatifs peuvent apparaître soudainement. Dans ce dernier cas, il est bien question d'une réponse non linéaire.

Ce chapitre aborde les possibles incidences cumulatives suite aux cinq parc éoliens actuellement autorisés dans la partie belge de la mer du Nord (Northwind + Belwind + C-Power + Norther + Rentel) en combinaison avec le parc éolien SeaStar.

C-Power NV détient les permis nécessaires afin de construire au niveau du Thorntonbank un parc éolien et de l'exploiter durant 20 ans. En 2008, les six premières turbines de 5 MW ont été installées (fondations gravitaires). En 2012 et 2013 48 turbines ont été installées (6,15 MW, fondations de type jacket). D'ici septembre 2013, le parc éolien de C-Power sera complètement opérationnel. Au total, une superficie de 19,9 km² sera utilisée afin de garantir une puissance installée maximale de 325 MW.

Belwind a obtenu les permis nécessaires pour un projet éolien de grande envergure (363 MW) au niveau du Blighbank. Une concession de domaine a été obtenue pour une superficie de

35,4 km². Le parc éolien sera composé de 110 turbines de 3 MW. Actuellement 5 turbines (avec des fondations de type monopylône) sont déjà opérationnelles. Les 55 turbines restantes seront vraisemblablement placées à l'aide de fondations de type monopylône.

Northwind a obtenu une concession de domaine pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien de 72 turbines (superficie totale : 14,30 km²) situé au niveau de Lodewijkbank à environ 38 km de la côte belge, avec une puissance installée commune de 216 MW; la puissance individuelle des éoliennes s'élèvera à 3 MW. Toutes les turbines seront sur fondation de type monopylône. La construction du parc éolien Northwind a débuté au printemps 2013.

Norther a obtenu le 18 janvier 2012 un permis environnemental pour la construction d'un parc éolien au sud-ouest du Thorntonbank. Ce parc de 44 km² se trouvera le plus proche de la côte belge, à environ 21 km. La configuration exacte n'est pour l'instant pas encore connue mais la puissance installée totale s'élèvera à 320 voire 420 MW, et le nombre de turbines variera entre 47 et 86.

Rentel NL a récemment obtenu un permis pour construire un parc éolien à environ 31 km au large des côtes belges. La zone de projet est d'environ 18,4 km^2 avec une extension possible à 26,9 km^2. Cet espace permettra d'installer 47 à 78 turbines pour une puissance totale dans le parc entre 289 MW et 550 MW.

Pour finir, Mermaid a également obtenu une concession de domaine pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien, mais comme la procédure de permis n'a pas encore été initiée, ce parc n'est pas abordé ici.

Seules ces incidences ayant une influence (positive ou négative) non négligeable quant à une certaine discipline seront abordées. L'on suppose en effet que lorsque une certaine incidence est totalement négligeable au niveau de l'environnement pour chaque parc éolien séparé, l'incidence cumulative sera négligeable. Il peut être dérogé à cette règle lorsque les incidences des parcs éoliens séparés se rapprochent d'un certain seuil, positionnant l'incidence cumulative dans un tout autre ordre de grandeur d'incidences (moyen voire significatif).

0.5.2 Sol

En optant pour la fondation gravitaire pour les parcs éoliens Rentel et SeaStar (le worst case scenario), environ 12,6 millions m³ de sable seront au total stockés pour les cinq parcs éoliens autorisés suite à l'excavation nécessaire. Pour les autres parcs éoliens, l'on s'est basé sur les décisions actuelles concernant le type de fondation : Belwind et Northwind (monopylône); C-Power (combinaison de fondation gravitaire et fondation de type jacket). Ce stockage est réalisé en phases dans le temps : la construction par parc dure 2 ans, la période de construction par parc éolien différera. En comparaison, au niveau de la PBMN, ces dernières années un volume annuel d'environ 2 millions m³ d'extraction de sable et de gravier a été utilisé commercialement parlant et a été dispersé à un certain nombre d'endroits. Environ 16 millions m³ ont été dragués et déversés à nouveau dans la mer au niveau des points de dépôt prévus. L'incidence cumulative sera plus restreinte que la somme des incidences individuelles.

L'impact sur la morphodynamique de la PBMN par la pose de câbles est négligeable. Une installation commune de câbles (trajets se trouvant proches) signifie un impact plus faible que lorsque chacun des quatre projets emprunte différents trajets. L'érosion locale par les constructions est contrecarrée par tous les parcs éoliens par la mise en place préalable d'une protection contre l'affouillement (à l'exception des fondations de type jacket). En optant pour

les monopylônes, l'on peut conclure que la protection contre l'affouillement est dans tous les cas assez grande. En optant pour les fondations gravitaires, il existe une certaine incertitude à cause du manque de recherches scientifiques et d'expérience pratique et c'est pourquoi les initiateurs prennent une plus grande marge de sécurité au niveau des dimensions de la protection contre l'affouillement. L'incidence cumulative est certainement plus petite que la somme des incidences individuelles. Si une érosion locale survient quand même, cette incidence peut d'une façon assez simple être effacée en effectuant des réparations et en déversant plus de protections contre l'affouillement .

En enlevant la protection contre l'affouillement, un puits sera en fait créé au niveau de chaque fondation. En fonction des connaissances actuelles, il est impossible d'évaluer le temps et la place nécessaire afin de réparer ces puits de fondation. L'incidence cumulative ne sera pas plus grande que la somme des incidences individuelles.

0.5.3 Eau

La construction de la fondation engendrera une hausse locale et temporaire de la turbidité. Celle-ci sera la plus grande pour l'alternative de configuration 1 de SeaStar disposant de 62 fondations gravitaires. En revanche en comparaison avec les concentrations de turbidité survenant naturellement lors des tempêtes, cela est évalué comme une incidence acceptable malgré le scénario cumulatif scenario. L'incidence cumulative sera la somme des incidences individuelles.

L'impact sur la turbidité quant à la pose de câbles de parc et d'exportation est considéré comme très temporaire et local, surtout en comparaison avec cet impact durant l'installation de fondations (voir plus haut). L'incidence est également évaluée comme étant acceptable.L'impact sur la turbidité quant à la pose de câbles de parc et d'exportation est considéré comme très temporaire et local, surtout en comparaison avec cet impact durant l'installation de fondations (voir plus haut). L'incidence est également évaluée comme étant acceptable.

0.5.4 Climat et atmosphère

Une importante incidence lors de la phase opérationnelle sont les émissions évitées sur la terre suite au fait que la production d'électricité nette des parcs éoliens ne doive pas être réalisée par une production classique, étant ou non combinée avec le nucléaire.

En février 2013, un Vlaams Klimaatplan a été mis au point.Les émissions évitées par les six parcs éoliens y contribueront grandement.

0.5.5 Bruit et vibrations

Le bruit provoqué par l'enfoncement des poteaux de fondation peut sous l'eau se propager jusqu'à une distance relativement grande avec seulement une faible atténuation. Mais comme lors de l'enfoncement un bruit d'impulsion (non continu) est émis et que les activités d'enfoncement ne surviennent que temporairement, l'incidence cumulative ne sera pas plus grande que la somme des incidences par parc éolien. Le risque que l'impulsion de l'enfoncement à hauteur des différents parcs survienne en effet au même moment est très restreint.

En draguant, le son subaquatique peut être perçu jusqu'à une distance relativement grande (dépassant les parcs éoliens) avec un faible étouffement sonore. Comme le dragage ne survient que temporairement et uniquement dans le cas de la moitié de la jacket et les lieux de fondation monopylône, et en optant pour une fondation gravitaire, l'incidence cumulative ne sera pas plus grande que la somme des incidences par parc éolien.

Lors de l'exploitation, le son subaquatique des éoliennes se limite au territoire entre les turbines et ne dépasse pas la limite de sécurité de 500 m autour du parc éolien; l'incidence cumulative est par conséquent égale à la somme des incidences individuelles.

Lors du fonctionnement cumulatif des parcs éoliens au sein d'une situation modérément perturbatrice, il n'y aura au-dessus de l'eau uniquement un niveau sonore accru dans les zones entre les parcs éoliens par rapport à la situation de fonctionnement individuel de chaque parc éolien, l'incidence cumulative sera par conséquent plus grande que la somme des incidences par parc éolien.

0.5.6 Faune, flore et biodiversité

Pour la plupart des incidences sur le benthos et les poissons (perte/perturbation de biotope, perte d'organismes, introduction de substrat dur, bruit et vibrations), il prévaut que l'incidence cumulative équivaut à la somme des incidences séparées par parc éolien. Celles-ci sont en outre souvent proportionnelles à l'espace emprunté. La superficie totale des cinq parcs réunis (comprenant les zones de sécurité) reste relativement petite par rapport à la PBMN. Comme la plupart des incidences ne surviennent qu'au niveau d'une petite partie des concessions de domaine (gravitaire > monopylône/jacket), l'on peut conclure qu'en règle générale les incidences seront acceptables. Il règne encore une grande incertitude quant à l'importance de l'incidence cumulative de la perturbation sonore et du rayonnement électromagnétique suite au câblage. Des contrôles approfondis sont indiqués.

En ce qui concerne les oiseaux, l'on peut s'attendre à ce que la présence d'un grand nombre de parcs éoliens dans une zone relativement restreinte peut engendrer une mortalité légèrement accrue des oiseaux marins au niveau de la population. Même s'il n'y aura vraisemblablement que relativement peu de victimes de collision, cela peut quand même à court terme avoir une incidence significative sur la population de certaines espèces (Drewitt & Langston, 2006). La présence des parcs éoliens peut en outre signifier la perte de l'habitat d'espèces d'oiseaux marins sensibles aux perturbations. Cela est en effet surtout le cas lors de la période hivernale durant laquelle un grand nombre d'oiseaux marins se concentrent sur la PBMN avant de partir pour les zones de couvaison. La présence des parcs peut en outre engendrer une diminution de la zone fourragère pour certaines espèces d'oiseaux sensibles aux perturbations ou entraîner un effet-barrière qui est surtout d'importance pour les oiseaux migrateurs. Ces incidences cumulatives ne peuvent en revanche pas être évaluées de manière univoque sur base des données actuelles. Des études supplémentaires sont nécessaires.

Pour les mammifères marins, l'on s'attend à ce que la plupart des incidences cumulatives (perturbation, son, présence physique, parcs éoliens, modification de la disponibilité alimentaire …) équivalent à la somme des incidences séparées. Il y a cependant beaucoup de lacunes au niveau de la connaissance.

0.5.7 Vue sur la mer et patrimoine culturel

Les activités de construction d'un parc éolien peuvent avoir une incidence sur l'expérience des touristes, des habitants et des pêcheurs. Le trafic maritime augmentera et les activités de construction en mer influenceront également la vue sur la mer. Les périodes de construction peuvent partiellement se chevaucher réduisant la durée de la perturbation, mais engendrer une intensité accrue de la perturbation. D'un autre côté, les travaux peuvent également être considérés comme une attraction touristique supplémentaire. Hormis cet élément, l'incidence cumulative peut être évaluée comme peu négative.

A partir de la côte, les turbines de C-Power et de Norther seront uniquement visibles. Il ressort d'une enquête de Grontmij (2010) concernant l'acceptabilité de la vue simulée des trois parcs autorisés à cette époque (C-Power, Belwind et Northwind) que 78% des personnes interrogées considéraient la vue comme acceptable. En voyant une simulation de la pire des possibilités représentant un domaine de concession complètement rempli par des éoliennes, la vue a encore été considérée comme étant acceptable par 62% des personnes interrogées. Comme les différents parcs sont construits en phases, il est possible qu'une accoutumance lente s'opère par rapport au paysage changeant. L'incidence cumulative est également considérée comme étant acceptable.

Le long des tracés pour les câbles d'exportation se trouvent quelques épaves. En s'efforçant d'éviter au maximum les épaves de bateaux en utilisant un side-scan sonar survey préalable (ou une étude similaire) le long du trajet, l'incidence sur le patrimoine culturel maritime sera réduite au maximum. L'incidence cumulative en prévoyant le câblage des parcs éoliens sur le patrimoine archéologique maritime est encore réduite en réunissant le plus possible les tracés de câbles des différents projets avec le tracé du câble de l'île Alpha d'Elia vers la côte.

0.5.8 Interaction avec des activités humaines

En remplissant toute la zone de concession avec des éoliennes, cela limite un pourcentage plus élevé de possibilités de pêche dans cette région. Si nous nous basons sur une évaluation approximative estimant qu'il est possible de pêcher dans 85% de la PBMN (Ecolas, 2003), cela équivaudrait à une perte supplémentaire pour la pêche traditionnelle d'environ 7% suite aux six parcs éoliens. La contribution de la zone de concession SeaStar n'est que très limitée; surtout en ce qui concerne les zones se trouvant proches de la côte et les bancs de sable sont plus intéressants en tant que territoire de pêche et ont en ce sens un impact plus important sur le secteur. Dekker *et al.* (2009) ont calculés que la fermeture des parcs éoliens (et également les territoires marins protégés) n'aura qu'une incidence minimale sur la quantité de poissons pêchée et donc sur la pêche. La mariculture offre également des possibilités afin de remplacer partiellement l'activité économique de la pêche. La fermeture d'un grand territoire uni peut en outre avoir comme conséquence que la durée de navigation des bateaux de pêche augmente.

Hormis la perte spatiale, les incidences cumulatives à court et à moyen terme lors de la phase de construction et de la phase opérationnelle sur les poissons peuvent jouer un rôle pour le secteur de la pêche. De possibles incidences cumulatives négatives sont engendrées par l'enfoncement des poteaux (monopylône, fondations de type jacket) et par la création de rayonnements électromagnétiques (câbles). Pour l'instant, il existe encore beaucoup d'incertitude quant à l'impact de ces incidences. Pour l'instant, cette incidence est évaluée comme légèrement négative (son de l'enfoncement durant la construction) voire peu négative

(rayonnement électromagnétique), mais des études approfondies sont souhaitables. A condition d'utiliser des mesures atténuantes, les deux incidences peuvent être considérées comme acceptables.

Une interdiction de pêcher et de naviguer dans la zone peut en outre avoir une incidence positive sur les populations de poissons. L'introduction des substrats durs peut engendrer une augmentation de la population de poissons.

Le contrôle exhaustif au niveau de la zone de concession contribuera de manière positive aux connaissances scientifiques de la PBMN. La possibilité d'étude scientifique entre l'industrie éolienne offshore et les universités belges et d'autres institutions scientifiques offre de nouvelles opportunités. L'incidence cumulative sur l'étude scientifique est donc évaluée comme légèrement positive.

0.5.9 Risques et sécurité

L'on s'attend à ce que les principales incidences cumulatives pour la discipline Risques et sécurité seront d'application pour les éléments 'Trafic maritime' et 'Radar et communication de navire'. C'est pourquoi, l'on abordera uniquement ces aspects.

Dans les études de sécurité de MARIN (2013), deux scénarios cumulatifs ont été examinés. Le scénario 1 comprend le parc éolien SeaStar en plus des parcs Norther, Belwind, Northwind, Rentel et C-Power, alors que le scénario 2 comprend la concession Mermaid.

L'incidence des parcs éoliens opérationnels sur les radars et les communications des navires est détaillée dans le rapport Flemtek-IMDC (2013, joint en annexe externe). Les résultats les plus importants concernant cette incidence cumulée sont résumés ci-dessous.

0.5.9.1 Trafic maritime

0.5.9.1.1 Situation de référence et développement autonome

La partie belge de la mer du Nord est caractérisée par un trafic maritime très intense. La route de navigation principale est orientée est-ouest en direction de l'Escaut (Zeebrugge).

Il ressort d'études précédentes (Ecolas, 2003; Le Roy *et al.*, 2006, DNV, 2008) que l'estimation des accidents maritimes dans les eaux territoriales belges constitue un calcul très difficile. Les chiffres varient de plusieurs collisions par an à moins de 0,0005/an en fonction de la zone considérée, du type de bateau et du type d'accident (collision/propulsion, avec un bateau/plateforme) pris en considération. Il est difficile d'évaluer les risques réels d'accident au sein de la PBMN. Il semble en outre que ce sont surtout les bateaux RoRo (Roll on/Roll off), moins les cargos et les conteneurs qui sont concernés par la collision entre 2 navires (DNV, 2008).

Il semble en outre qu'il existe une grande variation en ce qui concerne l'estimation du nombre d'accidents pouvant effectivement engendrer une pollution. L'étude RAMA (Le Roy *et al.*, 2006) mentionne que le risque d'un accident de déversement de marchandises dangereuses (pollution) est estimé à une fois tous les 3 ans. Ce chiffre est plutôt considéré comme une surestimation à cause de différentes raisons (entre autres les caractéristiques du modèle en combinaison avec le système de banc de sable). MARIN (2011a) a calculé que le risque équivalait à une fois tous les 31 ans. Ecolas (2003) mentionne que BMM considère 3 incidents

engendrant une pollution tous les 100 ans, ou une fois tous les 30 ans environ, comme étant un risque acceptable.

Une évaluation de ces estimations par rapport à la réalité montre que durant les 40 dernières années, l'on a dénombré environ 30 incidents avec de l'huile engendrant un risque potentiel pour la côte belge (Ecolas, 2006). Les volumes perdus varient cependant entre 10.000 tonnes et moins de 10 tonnes. La moitié de la pollution a été causée par le mazout, l'essence, les 'crudes', alors que l'autre moitié n'est pas identifiée. Cela a donc eu comme conséquence que la moyenne des quantités perdues s'élevait environ à 1.500 tonnes pour toute la zone polluée et à 500 tonnes pour la PBMN. Cette grande quantité est principalement imputable à l'accident du British Trent (1993) déversant environ 5.000 tonnes en mer. Une analyse excluant cet accident donne pour la PBMN une quantité moyenne perdue d'environ 50 tonnes.

A cause de l'incertitude, ces chiffres doivent être interprétés avec la plus grande des prudences. Comme il n'existe apparemment aucune conclusion univoque concernant les risques d'accidents et incidents au niveau de la partie australe de la mer du Nord, la comparaison avec le risque supplémentaire engendré par le projet sera difficilement interprétable.

0.5.9.1.2 Analyse et évaluation des incidences cumulatives

Le risque de collision au niveau des éoliennes par des navires obligés de suivre une route et ceux n'étant pas obligés de le faire est pour le parc éolien SeaStar relativement restreint (une fois tous les 54 ans pour un scenario avec 62 monopylônes et une fois tous les 46 avec 62 fondation s de type jackets installées), en comparaison avec les parcs aux extrémités NO et SE de la zone de parc éolien belge. Le risque de collision est d'une fois tous les 18 ans pour le parc Belwind et d'une fois tous les 14 ans pour la concession Rentel en se basant sur les données de trafic maritime de 2012. En se basant sur les données de trafic maritime de 2008, le risque de collision était de 1 fois tous les 11 ans pour Norther et d'une fois tous les 15 ans pour Belwind (MARIN, 2011b). Le risque faible de collision dans la zone de SeaStar est lié au fait que ce parc est central par rapport à la totalité de la zone réservée pour les parcs éoliens et également au fait que le parc est assez éloigné des couloirs de navigation les plus importants. Ecolas (2003) indique que le BMM accepte 3 incidents ayant une incidence environnementale négative sur une période de 100 ans soir environ tous les 30 ans. Ces incidents sont considérés comme des impacts négatifs de la construction du parc éolien.

Le risque total de collision au niveau du parc éolien SeaStar n'est que de 8,9% du risque total de collision de tous les parcs éoliens dans le worst case scenario (scenario 1). Le risque total de collision pour tous les parcs réunis est évalué à une fois tous les 5 ans (MARIN, 2013). En se basant sur les données de traffic maritime de 2008, ce risque était estimé à une fois tous les 4 ans (MARIN, 21011b).

Les éoliennes localisées en bordure de la concession SeaStar sont les plus sensibles au risque de collision.

Le risque de collision est surtout déterminé par le nombre de turbines et dans une moindre mesure par leurs dimensions. L'utilisation de fondations de type jacket augmente le risque de collision avec une éolienne du parc SeaStar de 13% à 16%. L'incidence cumulative des différents parcs éoliens (augmentation du nombre de turbines) quant à une collision au niveau des turbines est au maximum équivalente à la somme des incidences de chaque parc séparé. L'incidence cumulative sera vraisemblablement même plus petite, parce qu'à cause des flux

de trafic circulants lors de la fermeture d'un parc, le nombre d'éoliennes pouvant être heurtées est réduit. L'utilisation de turbines plus grandes et moins nombreuses diminue le risque de collision dans la zone de projet, de grandes turbines sur de grandes fondations

Le nombre de bateaux mêlés à une collision augmentera de 0,11%, à cause du changement du traffic la situation de trafic dans le scénario 1et de 0,21% dans le scenario 2 par rapport au scénario de base. Le risque de collision augmente de manière exponentielle à cause de l'intensité. L'incidence cumulative de la construction de parcs éoliens, augmentant de manière continue la densité des routes de navigation autour de la zone de parcs éoliens belge, sera donc supérieure à la somme des incidences de chaque parc séparé.

Le risque de blessure physique lors d'une collision ou d'une propulsion est particulièrement restreint. Les critères au niveau du risque externe, aussi bien le risque individuel que le risque de groupe, sont largement respectés.

Le risque de fuite de mazout de soute et d'huile de chargement au niveau de la PBMN s'accroît 3,1% suite au risque de collision au niveau d'une turbine du parc éolien SeaStar dans le cadre du scénario 1. Pour comparaison, l'augmentation pour le parc Norther était de 7,4 % (MARIN, 2011b).

La fuite d'huile modelée est une approche 'worst case'. Comme le pourcentage de navires-citernes à double conque augmente, le risque de fuite d'huile après une collision au niveau d'une éolienne diminue.

Il ressort de simulations de Dulière et Legrand (2011, in: BMM, 2011b) qu'en cas de conditions météorologiques rudes (vent de 17 m/s), l'huile peut atteindre la zone néerlandaise en moins de 3h et les côtes françaises en environ 18h après le déversement. Les zones sensibles belges (SBZ-V, SBZ-H en het Zwin) peuvent être impactées endéans les 6h. La Vlakte van de Raan et la Voordelta peuvent être atteintes endéans respectivement environ 3h et 6h après déversement. Un premier échouement peut être attendu 6h après le déversement à proximité de Zeebrugge et endéans environ 12h à un autre endroit de la côte belge. L'huile peut atteindre les côtes néerlandaises et françaises endéans les 12h après déversement en ce qui concerne les zones limitrophes à la zone belge et plus tard pour les zones plus lointaines (environ 24h pour Dunkerque et 24-36h pour Den Haag). Il y a donc un laps de temps relativement court pour intervenir en cas de déversement d'huile.

Surtout la faune aviaire, et vraisemblablement aussi les mammifères marins, sera touchée par les principales incidences à court terme de la pollution à l'huile. L'impact de la fuite au niveau des populations d'oiseaux est d'une part tributaire des espèces présentes, de leur densité et de leur vulnérabilité et d'autre part de la surface polluée. Hormis les victimes directes suite à une catastrophe, il y a vraisemblablement aussi des conséquences négatives pour la population (incidence de longue durée). Il n'est cependant pas toujours facile de distinguer l'incidence de la catastrophe des fluctuations naturelles au niveau de la population.

Au niveau des conclusions mentionnées ci-dessus, il faut tout de même tenir compte du fait que de telles incidences dépendent fortement des circonstances géographiques, physiologiques, chimiques et météorologiques pouvant influencer la pollution à l'huile. Les incidences cumulatives de la pollution en cas de présence de plusieurs parcs éoliens seront vraisemblablement plus grandes que la somme des incidences de chaque parc séparé. Le nombre accru d'éoliennes de chaque parc rendra l'endiguement plus difficile parce que les navires de lutte anti-pollution devront manœuvrer de manière plus précautionneuse.

0.5.9.2 Radar et communication de navire

0.5.9.2.1 L'impact sur les observations des stations de radar à quai SRK

Il n'y aura pas de réelles modifications en ce qui concerne le suivi du trafic maritime dans le cadre de la réalisation des parcs éoliens offshore au sein du domaine de concession belge délimité, aussi bien au niveau des stations de radar SRK flamandes que néerlandaises.

Il faut par contre remarquer que les routes de navigation secondaires changeront et que cette modification mérite une attention toute particulière en ce qui concerne la sécurité du trafic maritime sur ces routes modifiées.

0.5.9.2.2 L'impact sur les observations du radar de bateau

En règle générale, l'on peut affirmer que dans le cadre du fonctionnement opérationnel du radar de bateau, il n'y a pas de changements réels au niveau du suivi du trafic maritime lors de la réalisation complète de tous les parcs éoliens offshore au sein du domaine de concession délimité de la PBMN. La plupart des phénomènes sont déjà connus actuellement lorsqu'un objet suffisamment grand (en l'occurrence un autre bateau) se trouve à proximité du propre radar de bateau. Dans la plupart des cas, il s'agit même d'un mât ou d'un autre objet se trouvant à bord du propre bateau qui constitue la cause d'une image fautive. Les opérateurs radar à bord connaissent suffisamment bien ces phénomènes. Il faut uniquement remarquer que pour le suivi du trafic maritime au sein du parc éolien ou pour le suivi à partir du parc éolien il est possible que des zones mortes surviennent directement derrière les éoliennes. Mais la transparence reste entre-temps suffisamment garantie.

0.5.9.2.3 L'impact sur la communication VHF et les systèmes mariphones similaires (AIS, RDF)

En ce qui concerne les stations radio VHF, il n'y aura pas des changements réels au niveau du territoire belge ou néerlandais en ce qui concerne le suivi du trafic maritime dans le cadre d'une réalisation complète de tous les parcs éoliens offshore au sein du domaine de concession délimité de la PBMN. Cela vaut aussi bien pour le fonctionnement du système AIS que pour le système RDF.

Il faut à nouveau prêter une attention toute particulière aux routes de navigation secondaires autour des parcs éoliens offshore en ce qui concerne la sécurité du trafic maritime. La communication radio à travers des parcs éoliens entre bateaux sera en effet quasiment impossible.

0.5.9.2.4 Conclusion

En règle générale, l'on peut donc affirmer que la réalisation et l'implantation du parc éolien offshore singulier Rentel n'aura aucune influence notable sur la surveillance et sur la communication du trafic maritime, comme cela est le cas pour l'instant. De possibles effets cumulatifs engendrés par plusieurs parcs éoliens au sein du domaine de concession délimité de la PBMN, seront d'abord déterminés par les effets des projets Norther et C-Power devant et sur le Thorntonbank, puisque ces territoires se trouvent au sein de la zone active des stations de radar SRK flamandes et néerlandaises tout comme des stations radio VHF.

Il faut en outre remarquer que cette étude n'aborde que les effets de la surveillance radar SRK du trafic maritime, l'observation radar pour le radar de bateau et la communication radio VHF

(bateau/quai et bateau/bateau). La surveillance du parc éolien en question (et des différents autres parcs éoliens) n'a pas été traitée au sein de cette étude. Pour ce faire, il faut bien évidemment prendre des mesures adaptées, surtout afin de suivre de manière adéquate le trafic maritime autour de la partie se trouvant plus vers la mer du domaine de concession délimité de la PBMN. Il est par exemple possible d'installer une installation radar supplémentaire à un endroit adapté et avec éventuellement une portée limitée. Il est cependant évident qu'une telle installation radar supplémentaire peut et pourra 'desservir' immédiatement tous les parcs éoliens offshore(Norther, C-Power, Rentel, Northwind, Belwind, SeaStar et l'île Alpha d'Elia).

0.6 INCIDENCES TRANSFRONTALIÈRES

0.6.1 Climat

Juste derrière le parc éolien, la vitesse du vent peut descendre de 40% et même aller jusqu'à 100% lorsque les turbines sont placées les unes à côté des autres.

Si l'on tient en revanche suffisamment compte de la distance entre les parcs belges et néerlandais, l'incidence sur le vent restera restreint. Il est à conseiller de réaliser d'autres études quant aux 'incidences d'ombre' des parcs éoliens.

0.6.2 Son et la vue sur la mer

Etant donné la grande distance jusqu'à la côte néerlandaise (env. 38 km), les éoliennes du projet SeaStar n'engendreront aucune nuisance visuelle et sonore.

Au-dessus de l'eau à la frontière néerlandaise, l'on s'attend à un son spécifique d'environ 50 dB(A).

0.6.3 Faune et flore

Il y a deux zones Natura 2000 de l'autre côté de la frontière néerlandaise à 20 km du parc éolien SeaStar : la Vlakte van de Raan et la Voordelta.

Les incidences sur le benthos, les poissons, les oiseaux et les mammifères marins dans les zones de Natura 2000 sont considérées comme acceptables à cause de la nature temporaire et locale de la perturbation, de la grande distance par rapport aux colonies de phoques dans la Nederlandse Delta, de la zone étendue de fourrage des phoques et des oiseaux et à cause de la vaste zone de répartition des marsouins.

0.6.4 Risques et sécurité

La densité des bateaux au sein des flux maritimes autour des parcs éoliens augmentera. Ceci est également le cas sur le territoire néerlandais. Cela accroît aussi les risques d'accidents maritimes et de pollution à l'huile.

En passant par les parcs éoliens belges, les frais économiques et l'émission de CO2 augmenteront aux Pays-Bas. L'augmentation de la distance totale de la course est cependant très limitée.

0.6.5 Conclusion

Etant donné la position et la distance de l'implantation par rapport à la frontière, l'on ne peut s'attendre qu'à quelques incidences limitées vers les Pays-Bas. Etant donné la distance par rapport à la côte néerlandaise, les incidences peuvent être considérées comme acceptables.

0.7 CONTRÔLE

Le contrôle doit permettre de détecter d'éventuels changements dans l'écosystème suite à l'implantation du parc éolien. Comme actuellement différents parc éoliens sont opérationnels au sein de la zone de concession de vent juridiquement délimitée, il est nécessaire de mettre en phase les différents programmes de contrôle.

Dans les différents chapitres thématiques du présent RIE, des propositions en matière de contrôle sont formulées. Ces propositions sont principalement basées sur les différents RIE réalisés pour les parcs éoliens de C-Power, Northwind, Belwind, Rentel et Norther (Ecolas NV, 2003 et 2004; Arcadis, 2007, 2008 et 2011 ; IMDC, 2012a) et les évaluations d'incidences environnementales (EIE) effectuées par les autorités gouvernementales pour les mêmes projets (BMM, 2004, 2006a, 2007, 2009, 2011 et 2012).

0.8 CONCLUSION

THV SeaStar a obtenu une concession de domaine pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien offshore à environ 38 km de la côte. Le parc prévu sera construit le long de la frontière avec les Pays-Bas dans le chenal entre le Lodewijkbank et le Blighbank. La puissance installée commune du parc éolien SeaStar s'élèvera au minimum à 246 MW et n'excedera pas 540 MW. Le parc générera annuellement un rendement d'environ 800 GWh à 1.400 GWh, ce qui équivaut à une consommation annuelle moyenne d'environ 286.000 à 400.000 ménages normaux. Grâce à la réalisation du parc éolien, les objectifs du gouvernement sont remplis en matière d'énergie durable.

La procédure des rapports en matière d'incidences environnementales avec l'évaluation des incidences environnementales s'y rattachant est parcourue au profit de la prise de décision quant à la demande de permis. Ce RIE sert à étayer la demande de permis et traite aussi bien la construction, l'exploitation, le démantèlement que la pose de câble du parc éolien SeaStar. Au sein de ce RIE, les incidences environnementales pour les éoliennes seront abordées au sein d'un domaine d'application de 4 MW à 10 MW. Trois différentes alternatives de fondation sont étudiées (monopylône, jacket, gravitaire). En tenant compte de ces éléments, un certain nombre d'alternatives (configurations + type de fondation) ont été après concertation avec l'administration retenues pour le parc éolien SeaStar. Celles-ci seront abordées de manière détaillée dans les différents chapitres. Le nombre d'éoliennes varie en fonction de l'alternative choisie : la configuration de base (41 MP/JF/GBF * 6 MW); configuration 1 (62 MP/JF/GBF * 4 - 6,5 MW); configuration 2 (54 MP/JF/GBF * 7,5 - 10 MW); configuration 3 (43 JF/GBF * 6,5 – 7,5 MW). L'énergie est ensuite transportée par le biais de câbles souterrains (pour le trajet en

mer, les câbles ont été enterrés dans le fond marin) en direction de Zeebrugge ou de la plateforme alpha d'Elia Offshore. Le contrôle nécessaire pour la surveillance et la commande du parc éolien est également prévu tout comme la délimitation et le marquage exigés pour le trafic aérien et maritime. Le parc éolien sera construit en deux phases et une durée d'exploitation de minimum 20 ans est prévue.

Lors de la phase de construction, il y aura une perturbation environnementale temporaire suite aux activités. En ce qui concerne les fondations gravitaires, une quantité considérable de sable de dragage devra être stockée au sein de la zone de concession. Une perturbation de l'habitat benthique temporaire aura lieu à cause du stockage du sable dragué tout comme une perturbation limitée et temporaire de la faune et des poissons benthiques. Suite aux activités (naviguer, draguer, enfoncer, utilisation d'une grue, …), il y aura temporairement un niveau sonore accru au-dessous et sous l'eau. Il subsiste des incertitudes quant à l'importance de l'impact du son et des vibrations sur la vie marine. Suite à la protection anti-affouillement et aux éoliennes, il y aura une perte restreinte au niveau du fond sableux tout comme au niveau de l'habitat. La création de substrats durs engendrera une biodiversité accrue et modifiée. Il est vraisemblable que des espèces et des mammifères marins sensibles aux perturbations quitteront temporairement la zone. Aucune incidence n'est prévue pour les autres utilisateurs au sein de la PBMN.

Lors de la phase opérationnelle, certaines autres incidences surviennent également. L'érosion potentielle à hauteur des éoliennes est empêchée grâce à la pose préalable et au contrôle d'une protection anti-affouillement dans le cadre de l'utilisation d'un monopylône ou d'une fondation gravitaire. Le risque de pollution de l'eau et du sol est négligeable. Lors de l'exploitation de ce parc éolien, l'on évite jusqu'à presque 7,5% d'émissions en matière de gaz à effet de serre en comparaison avec les centrales classiques (incidence significativement positive). Le parc éolien ne sera presque pas perceptible à partir des différentes villes balnéaires, puisqu'il se situe derrière les parcs de Norther, C-Power, Rentel et Northwind. A cause du fonctionnement des éoliennes, l'on s'attend également à un son subaquatique accru à proximité des éoliennes. Au-dessus de l'eau, il y aura également un son accru, qui sera au maximum audible jusqu'à une distance de 5 km. Pour la plupart des sortes de faune, il n'y aura (presque) pas d'incidences. Les espèces d'oiseaux sensibles aux perturbations et collisions peuvent être sujettes à une incidence négative restreinte voire moyenne (collision, perturbation) lors de la phase opérationnelle. Une étude au radar approfondie est en revanche souhaitable afin de confirmer ces estimations provisoires. La présence et le comportement des mammifères marins peuvent être influencés de manière positive ou négative par les vibrations, le son, les travaux d'entretien et les changements au niveau des ressources alimentaires. L'on s'attend à une incidence positive indirecte (pêche accrue) sur la pêche traditionnelle à proximité, en interdisant la pêche au chalutier dans la zone du parc éolien.

En règle générale, l'on peut affirmer que les incidences de la phase de démantèlement sont similaires à celles de la phase de construction, mais que l'intensité de présence sera beaucoup moins élevée. La perturbation sonore persistera, mais restera limitée aux sons produits par le trafic maritime en question et par les activités de démantèlement (scier les éoliennes jusqu'à 2 m sous le fond marin ; enlever les fondations). La perturbation sonore significative suite à l'enfoncement (MP/FJ) lors de la phase de construction n'est donc plus présente lors de la phase de démantèlement. La perte de biotope et la perte en matière d'organismes s'y rattachant reste limitée aux superficies effectivement perturbées lors de la phase de démantèlement. Les incidences vont de (pratiquement) aucune incidence à une incidence négative restreinte, en fonction de l'alternative considérée.

L'influence principale du câblage est la perturbation locale du fond et des organismes qui y vivent. Cette influence sera limitée aux alentours du tracé du câble et disparaîtra après un certain temps (incidence négative restreinte). L'influence des rayons électromagnétiques et du réchauffement local du fond marin (à cause de la chaleur produite par les câbles électriques) sur le benthos, les poissons et les mammifères marins lors de l'exploitation du parc éolien est incertaine, mais se limite aux alentours.

En ce qui concerne les incidences cumulatives (incidences communes des six parcs éoliens), l'on abordera que les incidences qui ne sont pas négligeables pour un parc éolien singulier. L'incidence cumulative de ces incidences non négligeables sera en général égale ou inférieure à la somme des incidences individuelles. Si l'on opte pour une fondation gravitaire au niveau des parcs éoliens SeaStar, Rentel et Norther (d'autres parcs éoliens optent pour MP et/ou FJ), l'on stockera en totalité pour les cinq parcs éoliens réunis presque 12,6 millions de m³ de sable dans les domaines de concession respectifs suite à l'excavation requise. Les émissions évitées de chaque parc éolien séparé contribuent déjà grandement aux objectifs fixés en matière de réduction de SO_2, NO_x et CO_2. La contribution cumulative est bien entendu encore plus grande et équivaut à la somme des contributions individuelles. Lors de l'exploitation, le son subaquatique des éoliennes reste limité à la zone de sécurité. L'effet cumulatif est par conséquent égal à la somme des incidences individuelles. Il prévaut pour la plupart des incidences sur le benthos et les poissons que l'incidence cumulative constitue la somme des incidences séparées – souvent de manière proportionnelle à l'espace nécessité qui reste assez restreint par rapport à la PBMN- par parc éolien. Il prévaut également pour les oiseaux et les mammifères marins que l'incidence cumulative constitue la somme des incidences séparées. Il n'y a qu'au niveau de la prise d'habitat pour les oiseaux se reposant et fourrageant à cause du fonctionnement de chaque parc éolien qu'une incidence cumulative survient qui est plus importante que la somme des incidences par parc éolien. L'incidence cumulative sur la perturbation du mergule, du guillemot, du fou de Basan est considérée comme moyennement négative. Aucune incidence cumulative négative notable est attendue pour les différents usagers de la mer du Nord. Le risque de collision par rapport aux éoliennes est relativement peu élevé pour le parc éolien SeaStar (une fois tous les 54 ans), en comparaison avec les parcs aux extrémités NO et SE de la zone éolienne belge (une fois tous les 18 ans pour Belwind et une fois tous les 14 ans pour Norther en se basant sur les données de trafic de 2012). Le risque total de collision et de propulsion de tous les parcs est évalué à une fois tous les 5 ans. L'on ne s'attend donc pas à une influence négative significative suite à la présence et à l'exploitation des parcs éoliens quant à la surveillance et à la communication avec le trafic maritime.

Etant donné la position et la distance de l'implantation par rapport à la frontière, l'on peut s'attendre à certaines incidences transfrontalières limitées vers les Pays-Bas. Etant donné la distance par rapport à la côté néerlandaise, les incidences sont considérées comme acceptables.

REPORT



THV SeaStar

Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar

Numeric modelling of sediment transport

5 June 2013 - version 2.0

IMDC
International Marine & Dredging Consultants

Colophon

International Marine & Dredging Consultants

Address: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identification

Title	Numeric modelling of sediment transport
Project	Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar
Client	THV SeaStar
Document ref	I/RA/11421/13.113/MIM/
Document name	K:\PROJECTS\11\11421 - MER SeaStar\10-Rap\Externe bijlagen\1.IMDC2013a_RA13113_Sediment transport modelling\RA13113_Sediment transport modelling_v2.0.docx

Revision

Version	Date	Description	Author	Checked	Approved
1.0	24/04/13	Draft	LWA	MIM	MSA
2.0	05/06/13	Final report	LWA	MIM	MSA

Distribution List

	Hard copy	
x	Pdf	Marc Huygens (THV SeaStar)

Table of Contents

1. INTRODUCTION 8
1.1 THE ASSIGNMENT 8
1.2 AIM OF THE STUDY 8
1.3 OVERVIEW OF THE STUDY 9
1.4 STRUCTURE OF THE REPORT 9
2. DESCRIPTION OF NUMERICAL MODEL 10
2.1 HYDRODYNAMIC FLOW MODEL 10
2.1.1 Numerical grid and bathymetry 10
2.1.2 Boundary conditions 12
2.1.3 Validation 15
2.2 WAVE MODEL 18
2.2.1 Introduction 18
2.2.2 Numerical grid and bathymetry 19
2.2.3 Boundary conditions 20
2.2.4 Validation 23
2.3 SEDIMENT TRANSPORT MODEL 26
2.3.1 Boundary conditions and median grain size 26
3. RESULTS 28
3.1 SUMMER CONDITION (TIDAL CURRENTS ONLY) 28
3.1.1 Currents 28
3.1.2 Bottom shear stress 32
3.1.3 Sediment transport and morphological evolution 34
3.2 WINTER CONDITION (TIDES + WAVES) 36
3.2.1 Currents and waves 36
3.2.2 Bottom shear stress 40
3.2.3 Sediment transport and morphological evolution 41
4. DISCUSSION 43
5. CONCLUSIONS 46
6. REFERENCES 47

List of Tables

TABLE 1 VALUES OF AVERAGED TIDAL RANGE OF THE SELECTED REPRESENTATIVE TIDAL PERIOD AND ANNUAL MEAN TIDAL RANGE AT THREE STATIONS 13

List of Figures

FIGURE 2-1 LAYOUT OF THE MODEL GRIDS 10
FIGURE 2-2 THREE DOMAINS AFTER DOMAIN DECOMPOSITION 11
FIGURE 2-3 BATHYMETRY MAP OF THE FLOW MODEL DOMAIN 11
FIGURE 2-4 THREE-DIMENSIONAL BATHYMETRY MAP OF THE SEASTAR DOMAIN 12
FIGURE 2-5 TIDAL GAUGES IN THE MODEL DOMAIN 12
FIGURE 2-6 TIDAL RANGES AT THREE STATIONS IN 2009 13
FIGURE 2-7 MOVING AVERAGED TIDAL RANGE FOR SPRING-NEAP TIDAL CYCLE AT THREE STATIONS 14
FIGURE 2-8 TIDAL ELEVATION OBSERVED AT MOW0 STATION DURING THE REPRESENTATIVE PERIOD 14
FIGURE 2-9 LOCATION OF OBSERVATION POINTS 16
FIGURE 2-10 COMPARISON OF TIDAL ELEVATION AT WESTHINDER 16
FIGURE 2-11 COMPARISON OF VELOCITY AT SCHEUR WIELINGEN 17
FIGURE 2-12 COMPARISON OF VELOCITY AT LODEWIJKBANK 18
FIGURE 2-13 THE WAVE MODEL GRIDS (MAIN WAVE MODEL: WAVE GRID, NESTED WAVE MODEL: SEASTAR DOMAIN) AND THE THREE DOMAINS OF THE FLOW MODEL 19
FIGURE 2-14 BATHYMETRY MAP OF THE WAVE MODEL AND TWO WAVE MONITORING STATIONS 20
FIGURE 2-15 SIGNIFICANT WAVE HEIGHT OBSERVED AT WESTHINDER FROM 01-JULY-1990 TO 01-JULY-2010 20
FIGURE 2-16 UPPER PANELS: PERFORMANCE OF THE STATISTICAL MODEL; LOWER PANEL: CORRELATION BETWEEN VARIABLE LEVEL AND RETURN PERIOD. 21
FIGURE 2-17 PEAKS OF THE SIGNIFICANT WAVE HEIGHT MONITORED AT WESTHINDER 22
FIGURE 2-18 WIND CONDITIONS COLLECTED AT WESTHINDER DURING THE SELECTED STORM PERIOD 23
FIGURE 2-19 WAVE CONDITIONS COLLECTED AT SANDETTIE LIGHTSHIP DURING THE SELECTED STORM PERIOD 23
FIGURE 2-20 ONE-ON-ONE RELATION BETWEEN THE SIGNIFICANT WAVE HEIGHT CALCULATED BY DELFT3D-WAVE AND MEASURED AT THE WESTHINDER BUOY LOCATION 24
FIGURE 2-21 VALIDATION OF THE DELFT3D-WAVE MODEL WITH FIELD MEASUREMENTS OF THE DIRECTIONAL WAVE BUOY AT THE WESTHINDER BANK. COMPARISON OF THE TIME SERIES OF THE SIGNIFICANT WAVE HEIGHT H_{M0}, THE MEAN ZERO-CROSSING WAVE PERIOD T_{M02} AND WAVE DIRECTION 25
FIGURE 2-22 MAP OF THE GRAINSIZE DISTRIBUTION (ADAPTED AFTER VERFAILLIE ET AL., 2006). THE SEASTAR CONCESSION ZONE IS THE BLACK HATCHED AREA 27
FIGURE 3-1 BATHYMETRY MAP WITH ISOBATH CONTOUR LINES OF -25 M NAP; RED CROSS AND TRIANGLE LABEL TWO POINTS IN THE SEASTAR ZONE FOR INSPECTION OF TIME SERIES VARIABLES 28
FIGURE 3-2 TIME SERIES SHOWING CURRENT VELOCITY MAGNITUDE AND TIDAL ELEVATION AT THE RED CROSS POINT 29
FIGURE 3-3 TIME SERIES SHOWING CURRENT VELOCITY MAGNITUDE AND TIDAL ELEVATION AT THE RED TRIANGLE POINT 29

FIGURE 3-4 MAP OF AVERAGED CURRENT ELLIPSES IN SUMMER CONDITIONS WITH BATHYMETRY AS BACKGROUND; THE AVERAGED CURRENT ELLIPSES ARE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE; THE GRID RESOLUTION OF ONE ELLIPSE IS ABOUT 600M × 300M. 30

FIGURE 3-5 MAP OF AVERAGED CURRENT VELOCITY MAGNITUDE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 30

FIGURE 3-6 MAP OF MAXIMAL CURRENT VELOCITY MAGNITUDE OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 31

FIGURE 3-7 MAP OF THE RESIDUAL CURRENT CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS WITH RESIDUAL VELOCITY MAGNITUDE AS BACKGROUND AND ISOBATH LINES OF -25 M NAP 32

FIGURE 3-8 MAP OF THE AVERAGED SHEAR STRESS MAGNITUDE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITION WITH ISOBATH LINES OF -25M 33

FIGURE 3-9 MAP OF MAXIMAL SHEAR STRESS MAGNITUDE OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITION WITH ISOBATH LINES OF -25M..... 33

FIGURE 3-10 MAP OF RESIDUAL SEDIMENT TRANSPORT CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS WITH TRANSPORT RATE AS BACKGROUND AND ISOBATH LINES OF -25 M 34

FIGURE 3-11 MAP OF SEDIMENTATION AND EROSION CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS WITH VECTORS OF RESIDUAL SEDIMENT TRANSPORT AND ISOBATH LINES OF -25 M NAP 35

FIGURE 3-12 TIME SERIES OF MODELLED SEDIMENT TRANSPORT AND VELOCITY MAGNITUDE DURING THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN SUMMER CONDITIONS AT THE RED CROSS POINT..... 35

FIGURE 3-13 TIME SERIES OF MODELLED SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND TIDAL ELEVATION DURING THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS AT THE RED CROSS POINT..... 36

FIGURE 3-14 MAP OF AVERAGED CURRENT ELLIPSES IN WINTER CONDITIONS WITH BATHYMETRY AS BACKGROUND; THE AVERAGED CURRENT ELLIPSES ARE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE; THE GRID RESOLUTION OF ONE ELLIPSE IS ABOUT 600 M × 300 M..... 37

FIGURE 3-15 MAP OF AVERAGED CURRENT VELOCITY MAGNITUDE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 37

FIGURE 3-16 MAP OF MAXIMAL CURRENT VELOCITY MAGNITUDE OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP..... 38

FIGURE 3-17 MAP OF RESIDUAL CURRENT CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH RESIDUAL VELOCITY MAGNITUDE AS BACKGROUND AND ISOBATH LINES OF -25 M NAP 38

FIGURE 3-18 MAP OF AVERAGED SIGNIFICANT WAVE HEIGHT CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 39

FIGURE 3-19 MAP OF MAXIMAL SIGNIFICANT WAVE HEIGHT OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 39

FIGURE 3-20 MAP OF AVERAGED SHEAR STRESS MAGNITUDE CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 40

FIGURE 3-21 MAP OF MAXIMAL SHEAR STRESS MAGNITUDE OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH ISOBATH LINES OF -25 M NAP 40

FIGURE 3-22 MAP OF RESIDUAL SEDIMENT TRANSPORT CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH TRANSPORT RATE AS BACKGROUND AND ISOBATH LINES OF -25 M NAP 41

FIGURE 3-23 MAP OF SEDIMENTATION AND EROSION CALCULATED OVER THE REPRESENTATIVE SPRING-NEAP TIDAL CYCLE IN WINTER CONDITIONS WITH VECTORS OF RESIDUAL SEDIMENT TRANSPORT AND ISOBATH LINES OF -25 M NAP 42

FIGURE 4-1 TIME SERIES OF MODELLED SEDIMENT TRANSPORT IN SUMMER AND WINTER CONDITIONS, AND MODELLED SIGNIFICANT WAVE HEIGHT IN WINTER CONDITIONS AT THE RED CROSS POINT 43

FIGURE 4-2 TIME SERIES OF MODELLED SEDIMENT TRANSPORT IN SUMMER AND WINTER CONDITIONS, AND MODELLED SIGNIFICANT WAVE HEIGHT IN WINTER CONDITIONS AT THE RED TRIANGLE POINT 44

FIGURE 4-3 TIME SERIES OF MODELLED CHANGE OF SEDIMENT THICKNESS IN SUMMER AND WINTER CONDITIONS AT THE RED CROSS POINT 44

FIGURE 4-4 TIME SERIES OF MODELLED CHANGE OF SEDIMENT THICKNESS IN SUMMER AND WINTER CONDITIONS AT THE RED TRIANGLE POINT 45

1. INTRODUCTION

1.1 THE ASSIGNMENT

According to the Belgian legislation a concession is required for the construction and exploitation of a wind farm. A necessary part to obtain a concession permit is the writing of an Environmental Impact Assessment (EIA) of the foreseen activities. This task was assigned by THV SeaStar to International Marine and Dredging Consultants NV on 7 September 2012.

The description of the initial reference situation and the possible natural evolution of the subsurface is an important element of the EIA. In order to assess the autonomic evolution of the seafloor a numerical model had to be set-up that simulates the tidal currents, wave action and sediment transport in the concession area. This additional study was granted to IMDC NV on 7 February 2013. A detailed scope of work of this particular study was set up in close collaboration with the MUMM (Dries Van den Eynde) in order to fulfil the specific requirements of the EIA.

The dredging and disposal methods for the construction of the wind farm will likely cause turbidity and sediment dispersion. In order to assess the impact of the dredging activities on the background turbidity and suspended sediment levels, a dredging plume model study was proposed by IMDC. This additional study was granted to IMDC NV on 7 February 2013. A numerical model will be applied that simulates the tidal currents and sediment transport in the concession area.

1.2 AIM OF THE STUDY

In the framework of the EIA for the planned wind farm SeaStar, the stability of the sandy subsurface in the concession zone needs to be investigated with a numerical model. Conform the discussions with the MUMM, the aim of this study is to obtain information about the sediment transport and the natural morphological evolution in the area. It needs to be investigated where the most dynamic areas are located, where erosion and sedimentation will most probably occur in the project area. This information will be used when assessing the environmental impact of a wind farm on the soil and water column, and will help to define the necessity and the content of possible monitoring surveys.

The study will focus on the natural situation, i.e. without the presence of foundations for windmills. In the report at hand, the impact of the entire wind farm, nor the local impact of individual windmills on the morphology will be investigated with the numerical model, neither will be the turbidity effects. The turbidity effects of a single dredging plume will be discussed in a second document attached to the EIA ('Numerical modelling of dredging plume dispersion' (I/RA/11421/13.114/MIM)).

For this study, the morphological evolution and sediment transport will be investigated in two situations:

- summer conditions, i.e. only tides
- winter conditions, i.e. tides and waves

The numerical modelling will be performed using Delft3D software of Deltares (v. 4.0).

1.3 OVERVIEW OF THE STUDY

The report at hand, 'Numerical modelling of sediment transport' (I/RA/11421/13.113/MIM), presents the set-up of the numerical model and the model results describing the reference situation and natural evolution of the project area. It is part of the EIA for the construction and exploitation of wind farm SeaStar 'Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar' (I/RA/11421/12.201/MIM).

The second report 'Numerical modelling of dredging plume dispersion' (I/RA/11421/13.114/MIM) describes the dispersion of sediment during dredging and dumping.

Both reports are put integrally as attachment at the back of the EIA, the main results are summarized and presented in chapter 5.1 'Soil and Water' of the EIA.

1.4 STRUCTURE OF THE REPORT

Chapter 2: Description of the numerical FLOW, WAVE and sediment transport model.

Chapter 3: Results of summer and winter conditions, presented separately.

Chapter 4: Discussion, comparison between summer and winter conditions.

Chapter 5: Conclusions.

2. DESCRIPTION OF NUMERICAL MODEL

2.1 HYDRODYNAMIC FLOW MODEL

2.1.1 Numerical grid and bathymetry

With the aim to study the stability of the sandy subsurface in the concession zone, a numerical model was developed. This model is called “SSR model” and it is nested into a larger mother model called “KaZNO model” (Figure 2-1). The computational grid size of the KaZNO model is 2600 m × 7.000 m to 100 m × 140 m, and that of SSR model is 1800 m × 2700 m to 20 m × 30 m.

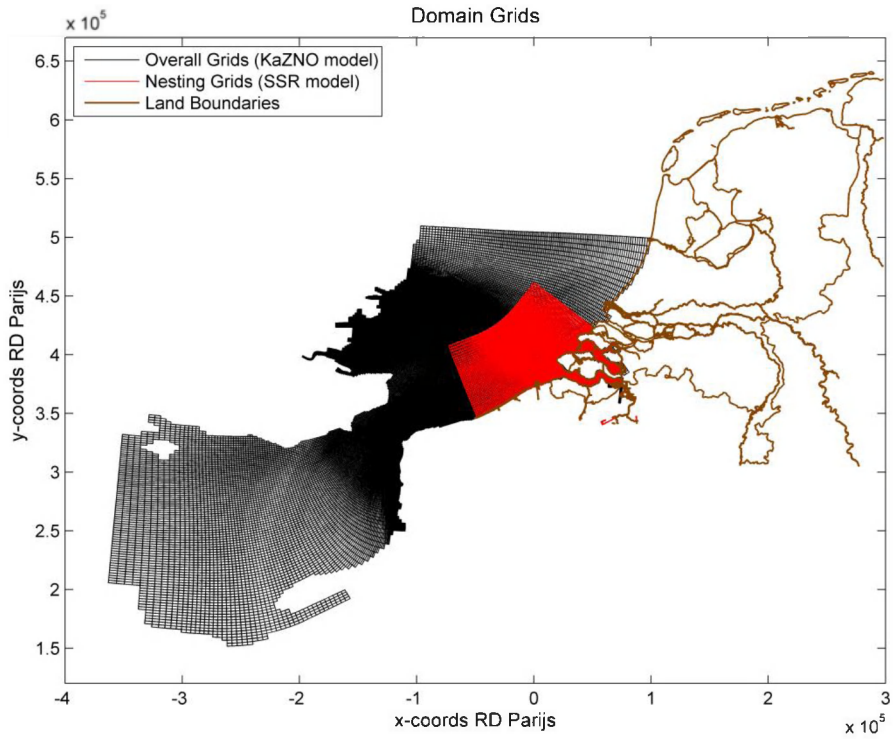


Figure 2-1 Layout of the model grids

In order to obtain more detailed information in the concession zone which is called “SeaStar Zone”, a domain decomposition technique is employed to specifically refine this zone indicated by the magenta lines in Figure 2-2. In addition, domain decomposition is applied to the upstream river domain but without any refinement, in order to reduce the computational time for the whole model domain. In the SeaStar domain, the grid size reaches 235 m × 340 m to 110 m × 180 m.

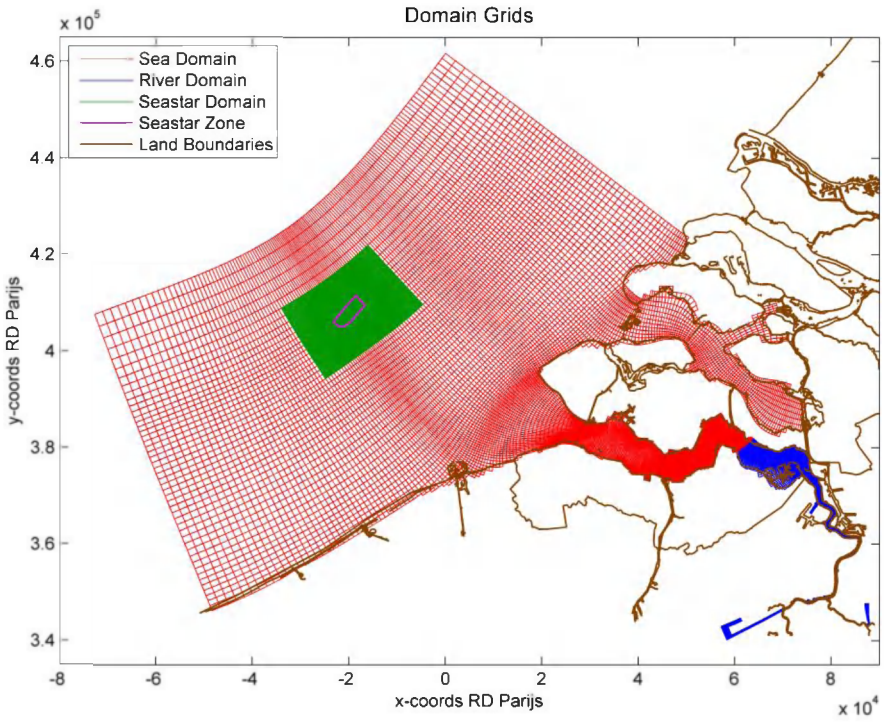


Figure 2-2 Three domains after domain decomposition

The general bathymetry map (Figure 2-3) shows that the SeaStar Zone is situated at a depth of around -33 m NAP, and that it is surrounded by several large sandbanks higher than -30 m NAP (e.g. Lodewijkbank, Blighbank) (NAP = TAW + 2.333 m). This is more obvious from the three-dimensional bathymetry map (Figure 2-4).

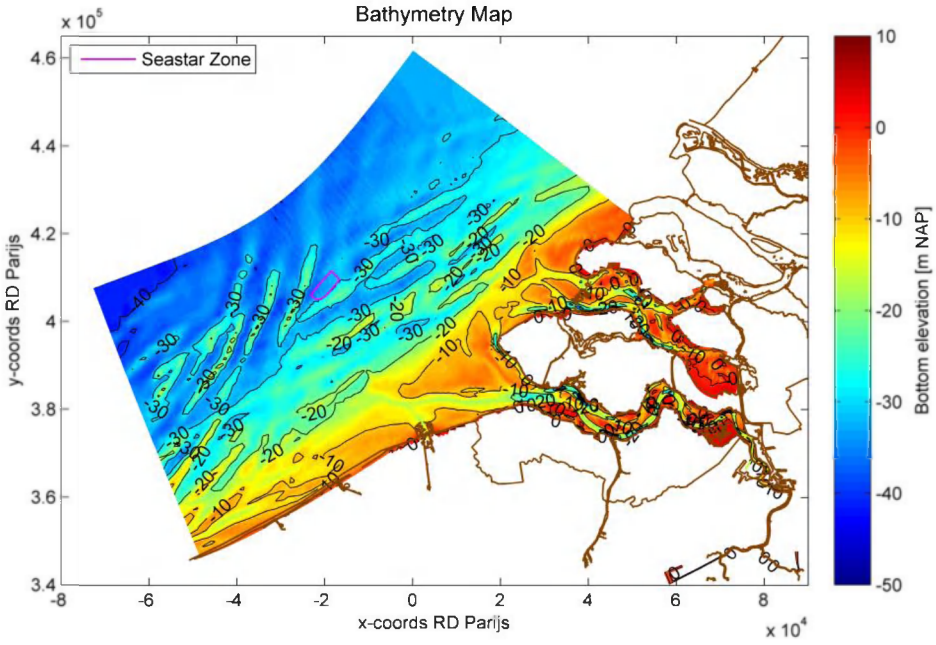


Figure 2-3 Bathymetry map of the flow model domain

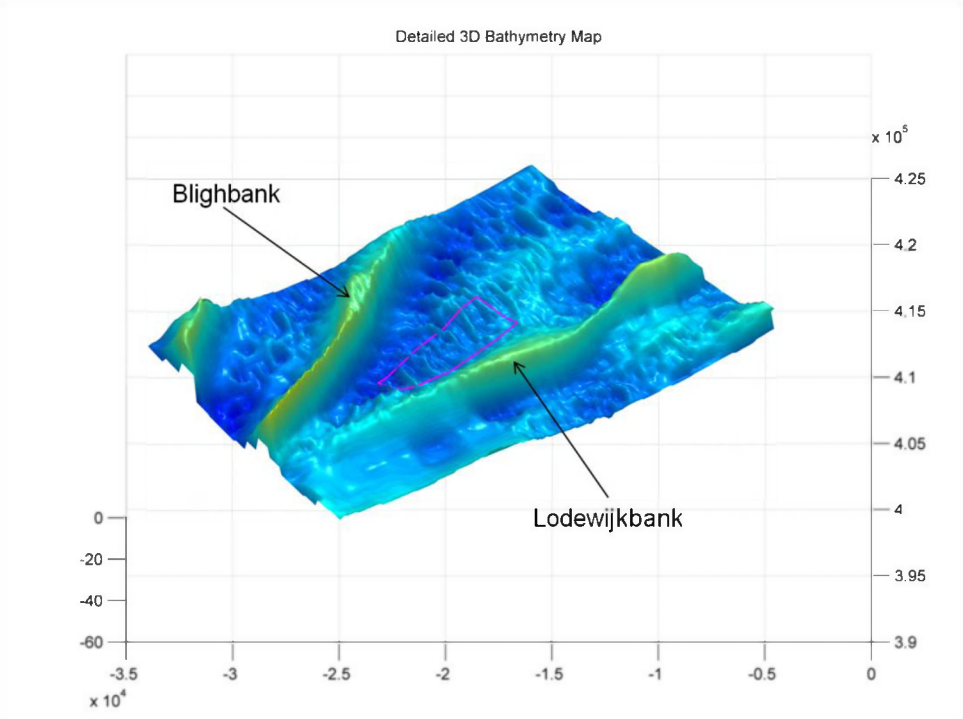


Figure 2-4 Three-dimensional bathymetry map of the SeaStar domain

2.1.2 Boundary conditions

The SSR model is supplied by boundary conditions from the KaZNO model. In order to get a mean tidal forcing in this domain, one year of data of tidal ranges at three stations were statistically analysed and then a representative spring-neap tidal period was selected.

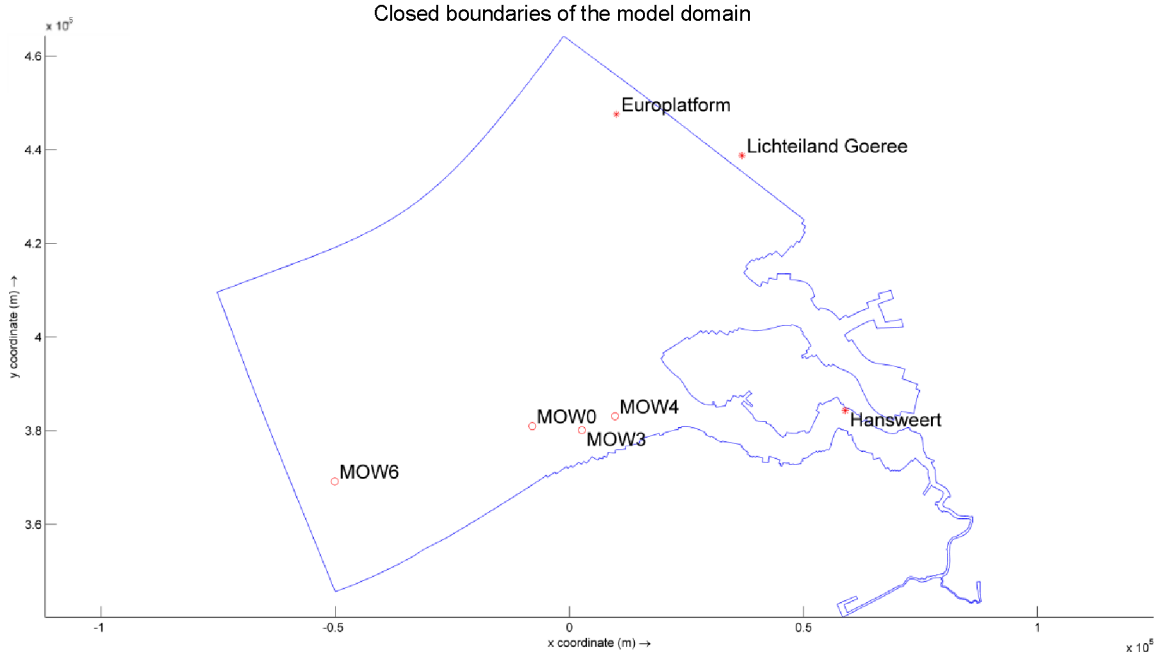


Figure 2-5 Tidal gauges in the model domain

In fact, there are much more tidal gauges than what is shown in Figure 2-5. However, a complete set of tidal elevations for one year can only be found at the three stations, shown as stars in the figure.

Figure 2-6 shows the variation of tidal ranges at three observation stations during the whole year of 2009. The tidal range at Hansweert is much higher than those at the other stations, due to the tidal wave transformation in the Westerschelde estuary.

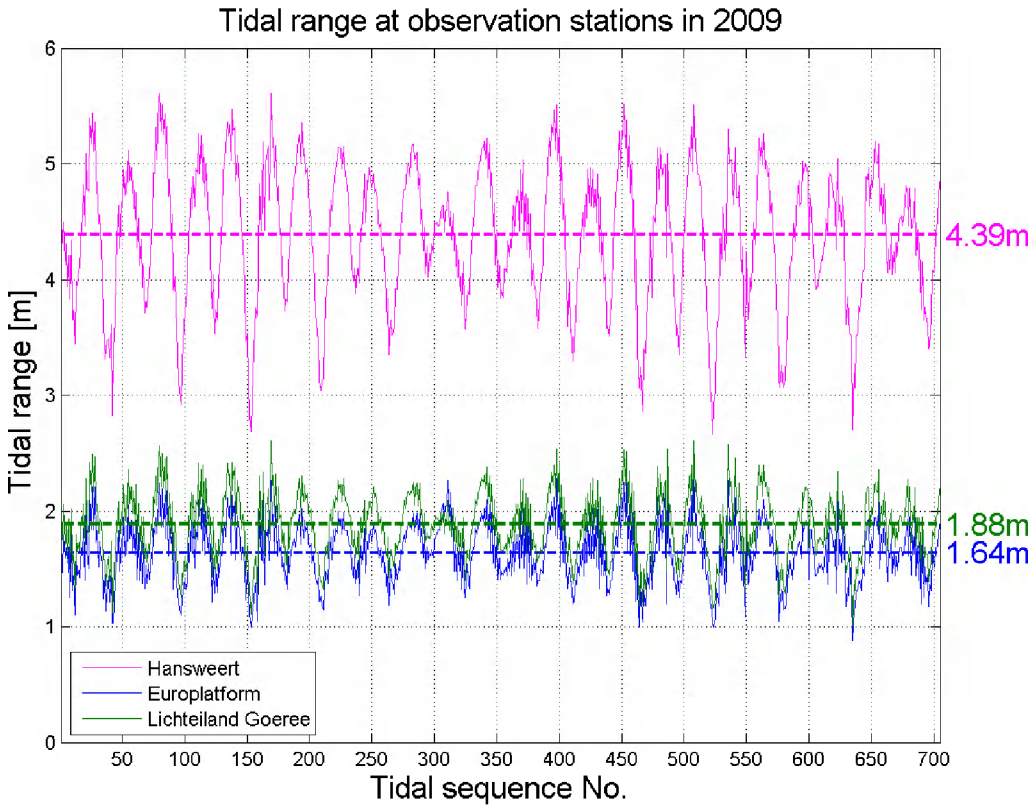


Figure 2-6 Tidal ranges at three stations in 2009

Figure 2-7 shows that the three stations have an almost identical variation pattern in terms of the moving averaged tidal range for a spring-neap tidal cycle. The 394th spring-neap tidal cycle marked by the black dash line in the figure was selected as the representative tidal period to represent the mean tidal forcing of a whole year in this domain. Table 1 shows that the tidal ranges of the selected representative tidal period at the different three stations are all fairly close to their annual mean tidal ranges.

Table 1 Values of averaged tidal range of the selected representative tidal period and annual mean tidal range at three stations

Location	averaged tidal range of the 394th spring-neap tidal cycle	annual mean tidal range
Europlatform	164.4 cm	164.3 cm
Lichteiland Goeree	188.6 cm	188.4 cm
Hansweert	441.8 cm	439.1 cm

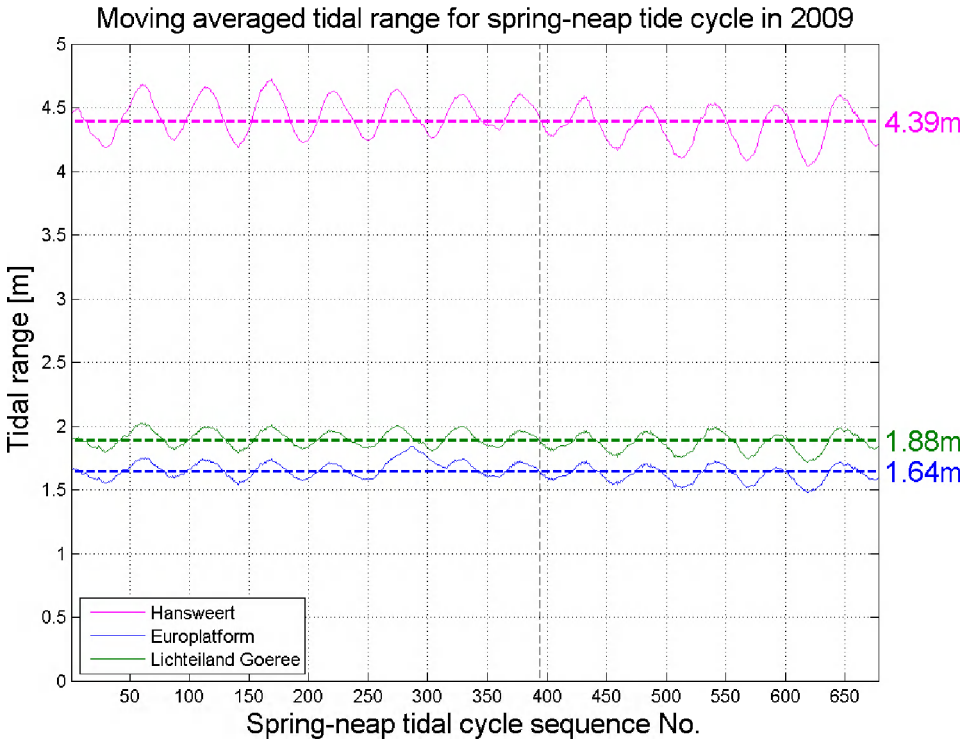


Figure 2-7 Moving averaged tidal range for spring-neap tidal cycle at three stations

The annual representative spring-neap tidal cycle period is from 23-Jul-2009 14:00:00 to 07-Aug-2009 01:40:00, in total 20860 minutes (14 × 24 hours 50 minutes). The figure below shows the variation of the tidal elevation observed at the nearby tidal record station MOW0 during the representative spring-neap tidal period.

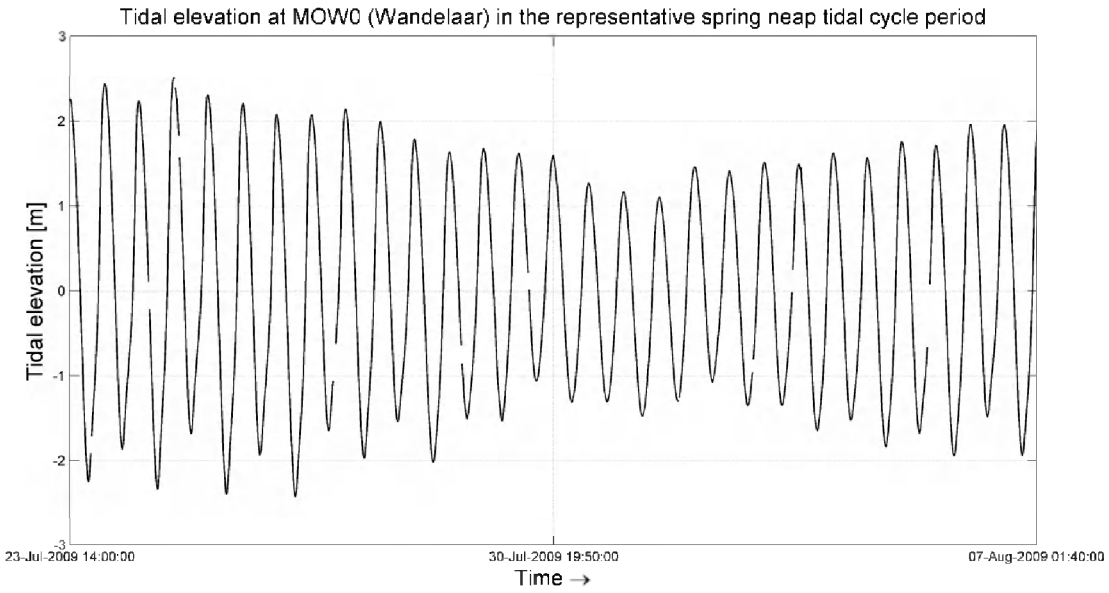


Figure 2-8 Tidal elevation observed at MOW0 station during the representative period

2.1.3 Validation

The model validation period is from 12 April 2010 to 19 April 2010. Three measuring points are used for the model validation (Figure 2-9).

Firstly, a comparison of tidal elevation was carried out at Westhinder (Figure 2-10). There is a good agreement between the observation and modelling result, although the modelling result gives a maximum overestimation of around 10% in terms of the tidal range. More calibration of the mother model KaZNO is expected to reduce this overestimation.

The observed current velocity data at Scheur Wielingen in Figure 2-11 is actually sampled at -7.5 m below the water surface, and is not a depth averaged velocity. Due to the scarcity of available data, the observation point is also used to investigate the performance of the model in a qualitative point of view. From the figure, it can be seen that the model gives a satisfactory result compared to the observed data. The variation pattern of tidal current magnitude is captured by the model successfully, and the direction of current velocity is reproduced by the model quite well.

The velocity data at Lodewijkbank is collected in the Northwind (former Eldepasco) project area near to the SeaStar Zone, 0.5 m above the bottom (at -26.23 m NAP) (Figure 2-9). At this point, the modelling result is shown to deviate from the observed data. However, the variation characteristics of the tidal current are effectively reproduced by the model. The magnitude of the current velocity is overestimated approximately 25% by the model, and the bias and RMSE are 0.079 m/s and 0.16 m/s respectively. On one side, this overestimation could be ascribed to the overestimation of the tidal range, which has been demonstrated in Figure 2-10. On the other side, the sampling point is located at the top of the sandbank, where the topography is highly variable (e.g. small dunes, ripples) and the hydrodynamics are locally complex. To resolve such high variability in sea bottom would of course result in a more detailed and refined numerical modelling scheme and associated increasing cost of computation time. In addition, the bathymetry input in the model is different from that found in the measurement (-24.85 m vs. -26.73 m NAP), which is also able to influence accuracy of the modelling.

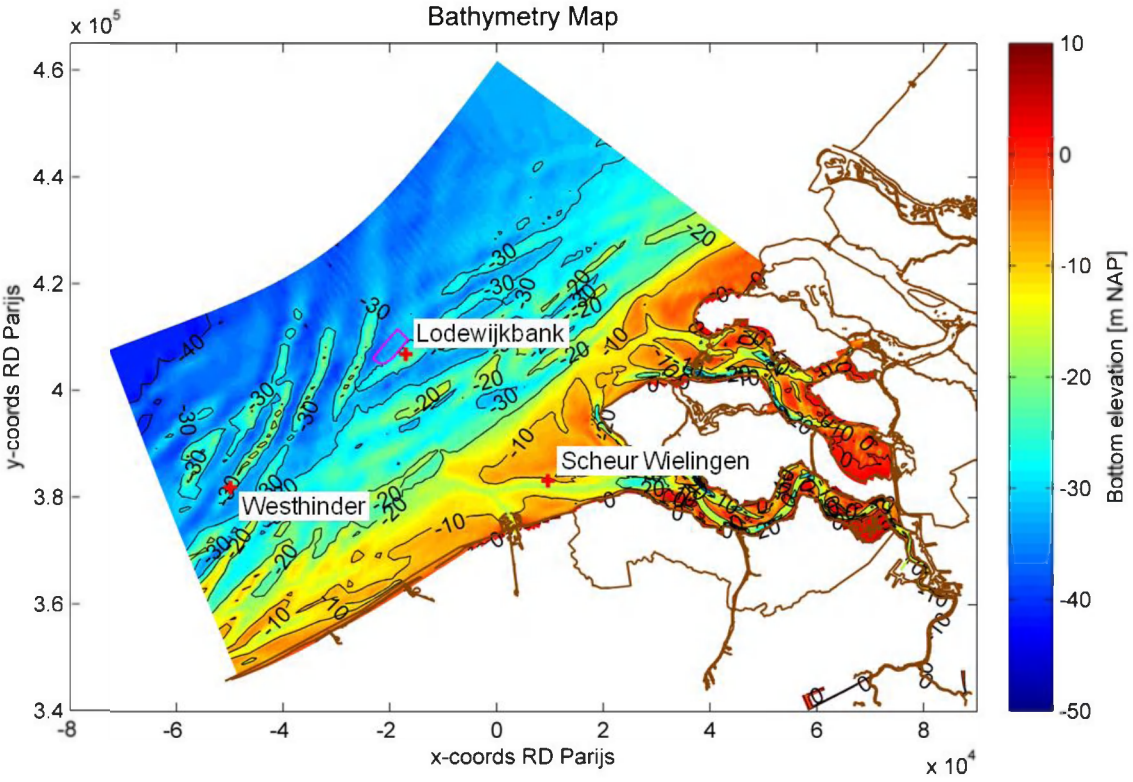


Figure 2-9 Location of observation points

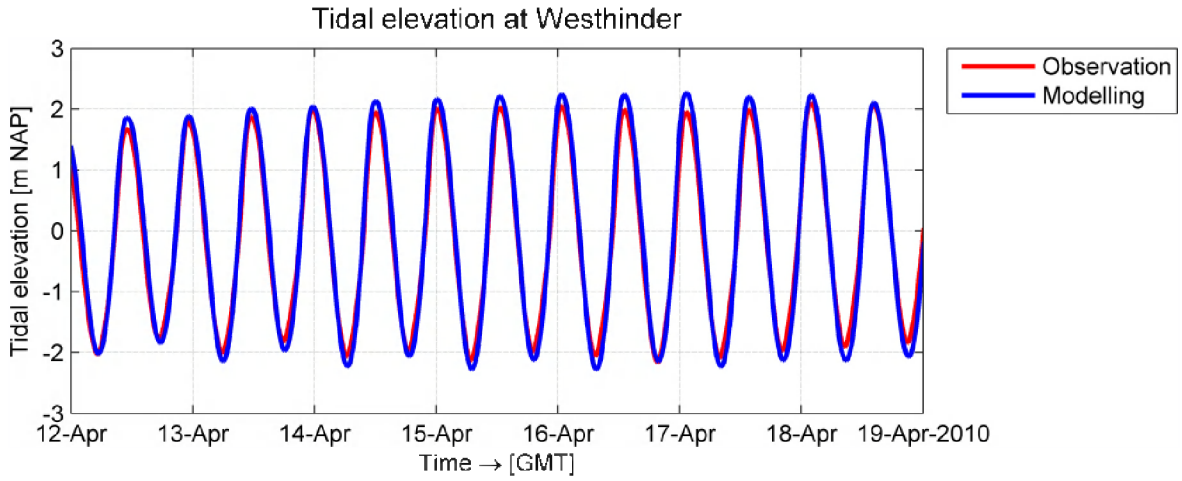


Figure 2-10 Comparison of tidal elevation at Westhinder

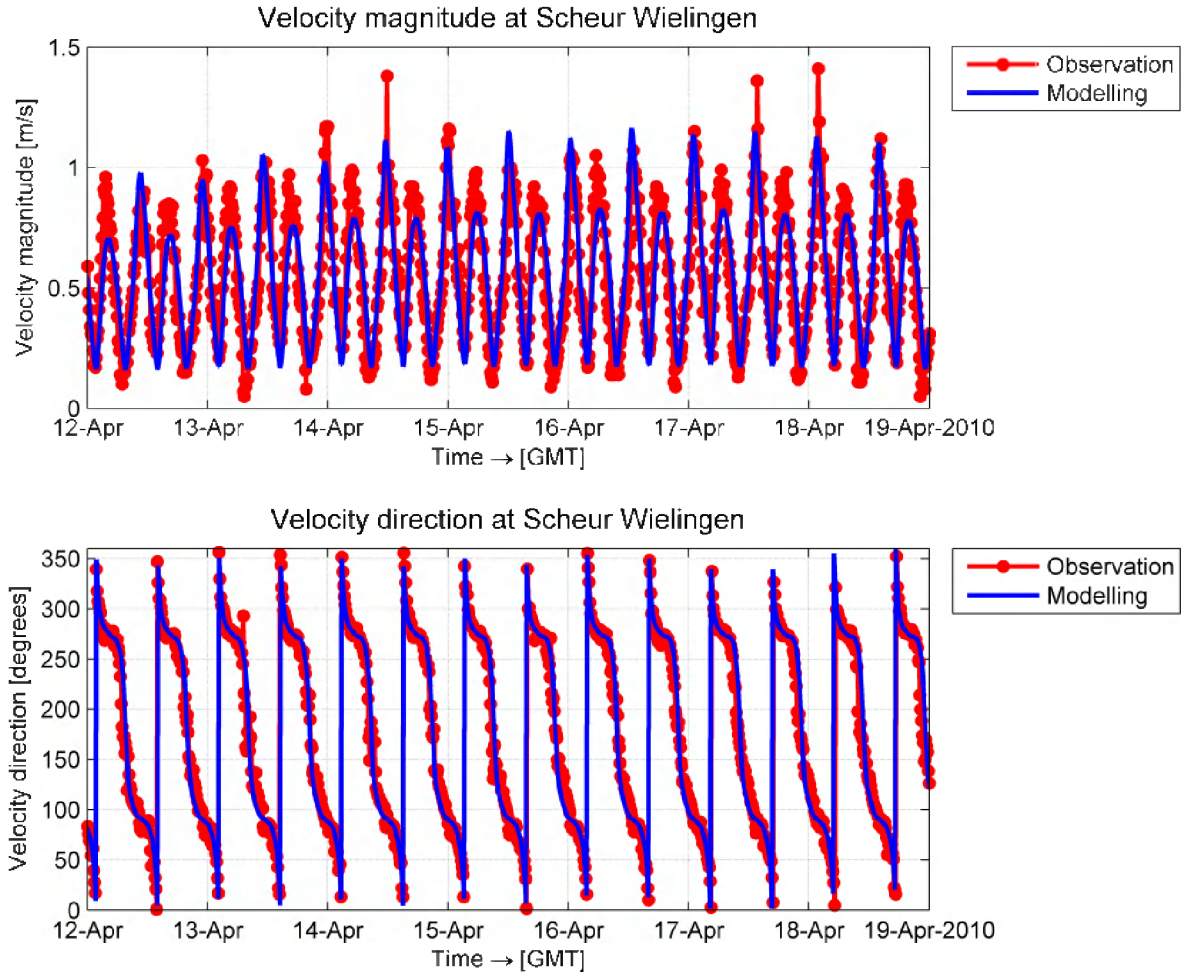


Figure 2-11 Comparison of velocity at Scheur Wielingen

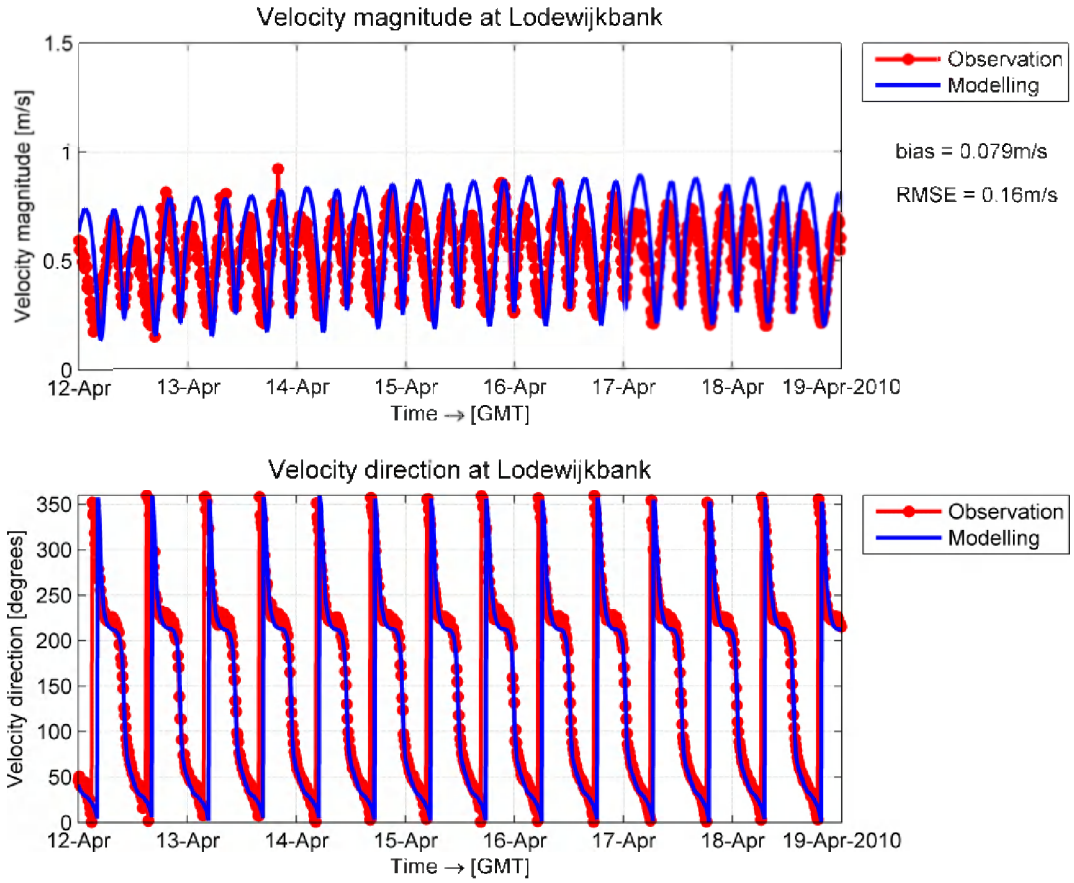


Figure 2-12 Comparison of velocity at Lodewijkbank

2.2 WAVE MODEL

2.2.1 Introduction

In order to investigate the stability of the sandy subsurface under storm conditions, a wave model covering the sea domain of the flow model was developed using the wave module of Delft3D (Delft3D-WAVE). This is actually the same as the stand alone wave model SWAN (SWAN Cycle III version 40.72ABCDE) but integrated within Delft3D with a comprehensive user interface and allows coupling with the FLOW module.

SWAN (acronym for Simulating WAves Nearshore), which is developed at the Delft University of Technology, is a third generation spectral wave model for obtaining realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind, bottom and current conditions. The model is based on the wave action balance with sources and sinks.

The following wave propagation processes are represented in SWAN (only the processes relevant to this case are given):

- Refraction due to spatial variations in bottom;
- Shoaling due to spatial variations in bottom;

The following wave generation and dissipation processes are represented in SWAN:

- Generation by wind;
- Dissipation by whitecapping;
- Dissipation by bottom friction;
- Wave-wave interactions (quadruplets and triads).

2.2.2 Numerical grid and bathymetry

The main wave model has a space-uniform resolution with a grid size of 1000 m × 1000 m (cf. Figure 2-13). To obtain a higher resolution at the SeaStar concession area, a wave model with a grid size of approximately 230 m x 230 m is nested within the main wave model (cf. green grid in Figure 2-13, this is the same grid as the FLOW detailed grid SeaStar Domain). In Figure 2-14, showing the bathymetry map of the wave model, the wave monitoring station "Sandettie Light (ship)" is indicated. The observation station is exactly situated at the western boundary of the wave model, from which sampled wave data were used to provide the boundary conditions for the wave model. Whereas sampled wave data from the other monitoring station "Westhinder" were used for the validation of the wave model. Also, the wind data at Westhinder was used to provide the wind boundary conditions of the wave model.

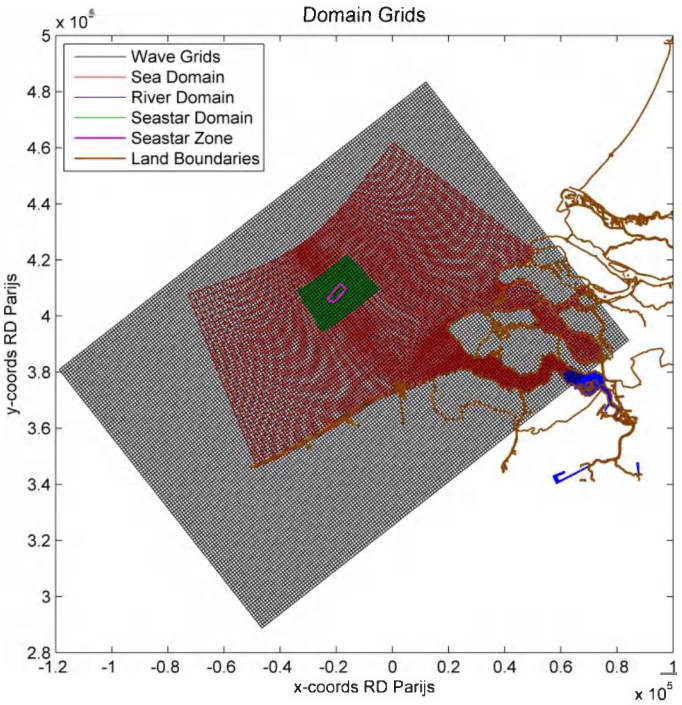


Figure 2-13 The wave model grids (main wave model: Wave Grid, nested wave model: SeaStar Domain) and the three domains of the flow model

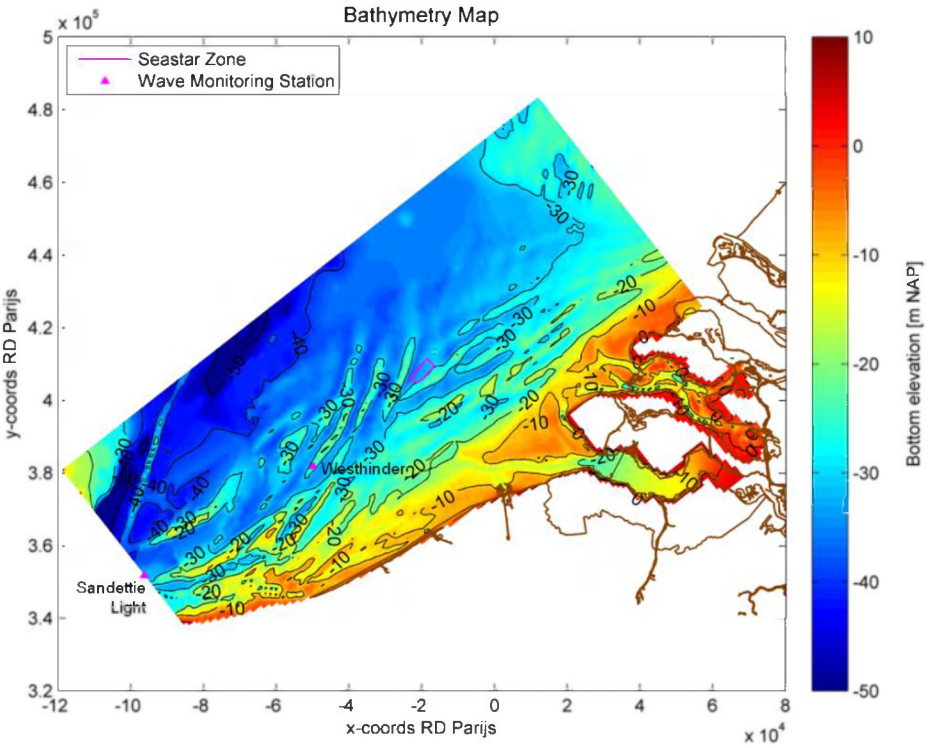


Figure 2-14 Bathymetry map of the wave model and two wave monitoring stations

2.2.3 Boundary conditions

In order to determine the wave conditions for a one-year-return storm, a wave dataset of 20 years collected at Westhinder was investigated. The significant wave height was used as an input variable to an extreme value analysis (EVA) tool developed at IMDC. Peaks of the significant wave height were firstly picked out by the tool and shown by red diamonds in Figure 2-15.

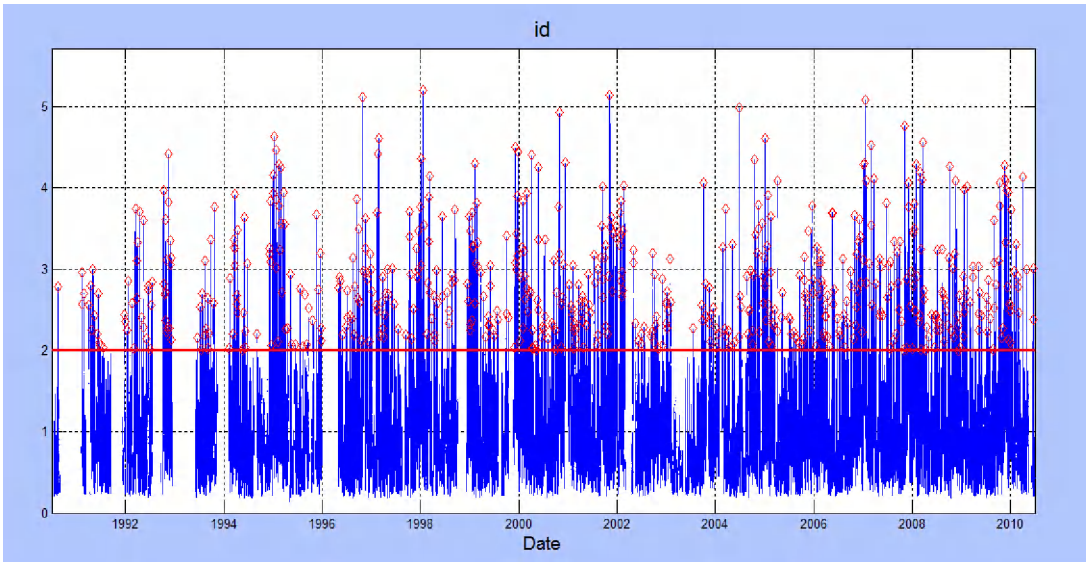


Figure 2-15 Significant wave height observed at Westhinder from 01-July-1990 to 01-July-2010

Based on the peaks of the significant wave height, a correlation between the significant wave height and the return period was found by the EVA tool (Figure 2-16). The significant wave height in a one-year return storm is about 4.353 m. The two upper panels in this figure demonstrate the performance of the statistical model, from which a quite good agreement between real and modelled values can be observed.

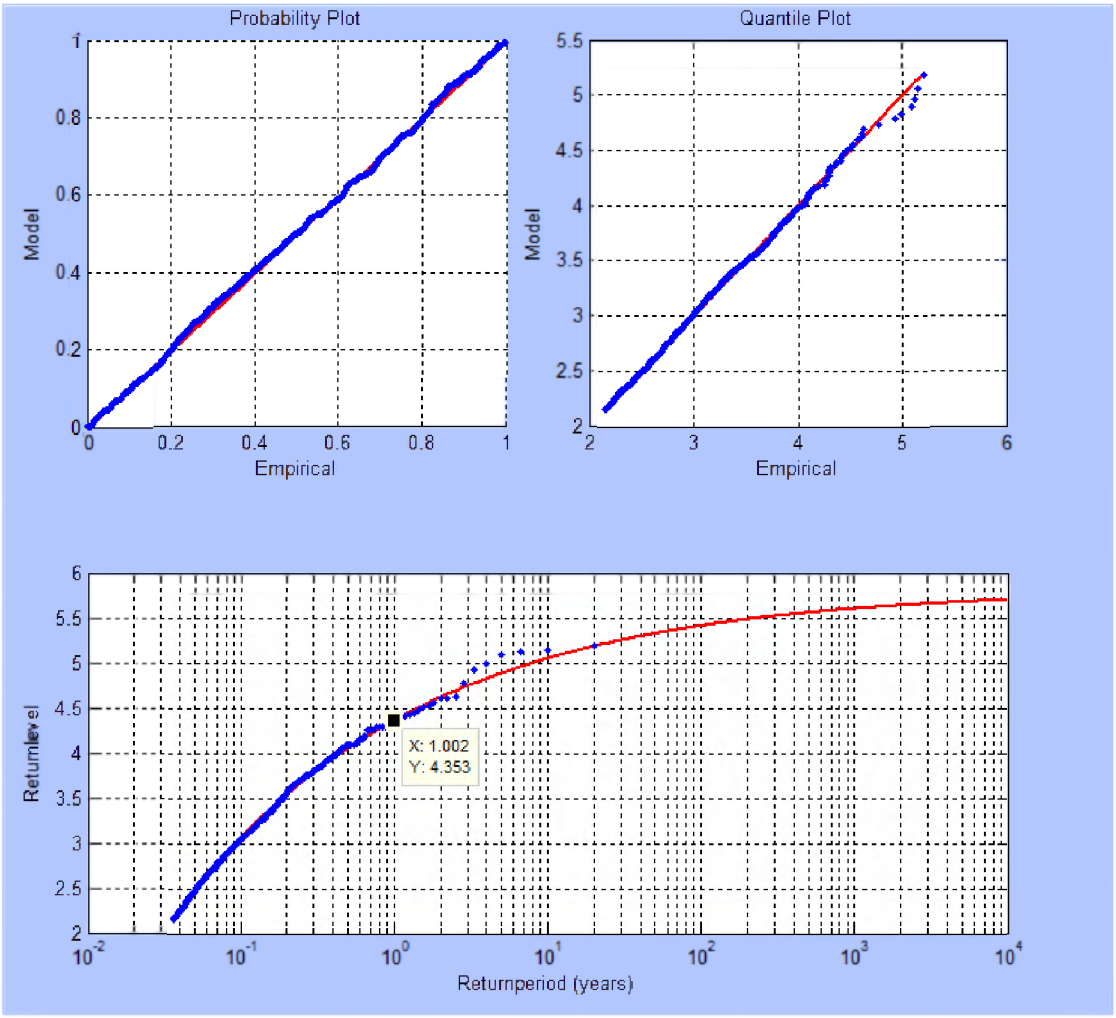
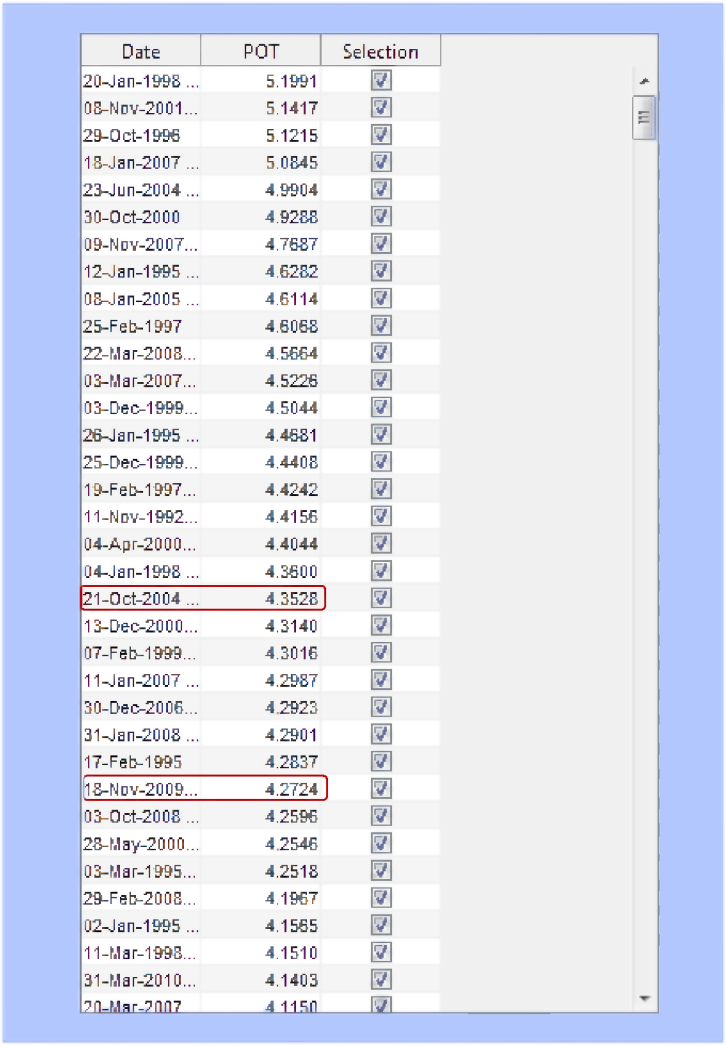


Figure 2-16 Upper panels: performance of the statistical model; lower panel: correlation between variable level and return period.

In Figure 2-17, the peaks of significant wave height are listed in a descending order. The one-year-return storm with significant wave height of 4.353 m occurs on 21-Oct-2004. But the sampled wave dataset at Sandettie Lightship is only available after 2005. The significant wave height (4.299 m) of the storm occurring on 11-Jan-2007 is quite close to that (4.353 m) of the one-year-return storm. However a much larger storm with significant wave height of 5.085 m subsequently took place on 18-Jan-2007. If the wave peak (4.299 m) would be adapted to the lowest water at spring tide, the large storm with significant wave height of 5.085 m would be also included in the simulation period, as a result of which the significant wave height of the one-year-return storm becomes 5.085 m instead of 4.299 m during the simulation period. Another storm with a similar significant wave height of 4.272 m, which occurred on 18-Nov-2009 and was produced by a wind from west southwest (the predominant wind direction in the

project area), is selected as the one-year-return storm. In addition, the wind conditions collected at Westhinder during this storm period were used as wind input for the wave model.



Date	POT	Selection
20-Jan-1998 ...	5.1991	☑
08-Nov-2001...	5.1417	☑
29-Oct-1996	5.1215	☑
18-Jan-2007 ...	5.0845	☑
23-Jun-2004 ...	4.9904	☑
30-Oct-2000	4.9288	☑
09-Nov-2007...	4.7687	☑
12-Jan-1995 ...	4.6282	☑
08-Jan-2005 ...	4.6114	☑
25-Feb-1997	4.6068	☑
22-Mar-2008...	4.5664	☑
03-Mar-2007...	4.5226	☑
03-Dec-1999...	4.5044	☑
26-Jan-1995 ...	4.4681	☑
25-Dec-1999...	4.4408	☑
19-Feb-1997...	4.4242	☑
11-Nov-1992...	4.4156	☑
04-Apr-2000...	4.4044	☑
04-Jan-1998 ...	4.3600	☑
21-Oct-2004 ...	4.3528	☑
13-Dec-2000...	4.3140	☑
07-Feb-1999...	4.3016	☑
11-Jan-2007 ...	4.2987	☑
30-Dec-2006...	4.2923	☑
31-Jan-2008 ...	4.2901	☑
17-Feb-1995	4.2837	☑
18-Nov-2009...	4.2724	☑
03-Oct-2008 ...	4.2596	☑
28-May-2000...	4.2546	☑
03-Mar-1995...	4.2518	☑
29-Feb-2008...	4.1967	☑
02-Jan-1995 ...	4.1585	☑
11-Mar-1998...	4.1510	☑
31-Mar-2010...	4.1403	☑
20-Mar-2007	4.1150	☑

Figure 2-17 Peaks of the significant wave height monitored at Westhinder

The selected storm period is simulated by consecutive stationary SWAN runs with an interval of 1 hour. Figure 2-18 and Figure 2-19 respectively display the wind input and wave boundary conditions, with an interval of 1 hour, applied to the wave model during the selected one-year-return storm period. During the selected storm period the predominant wind and wave direction was SW – WSW.

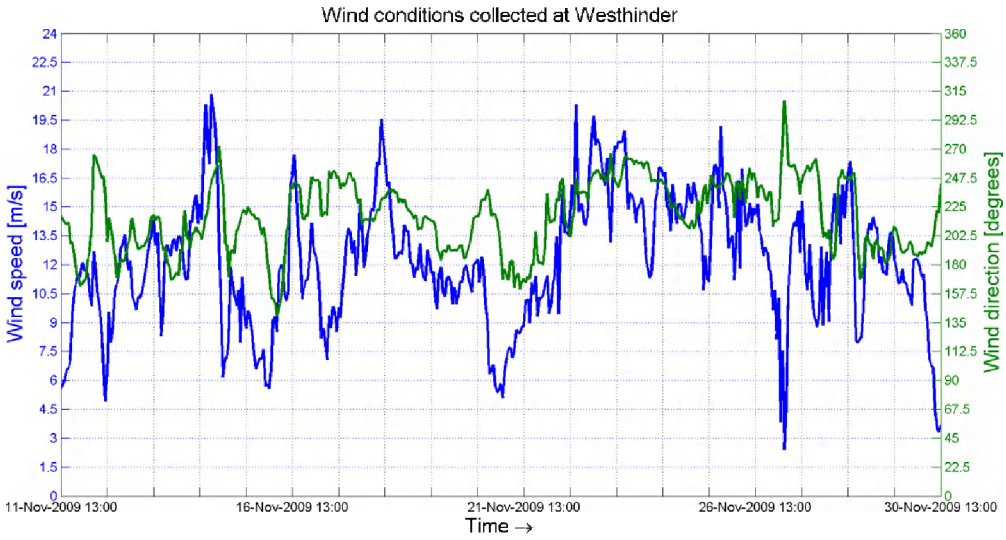


Figure 2-18 Wind conditions collected at Westhinder during the selected storm period

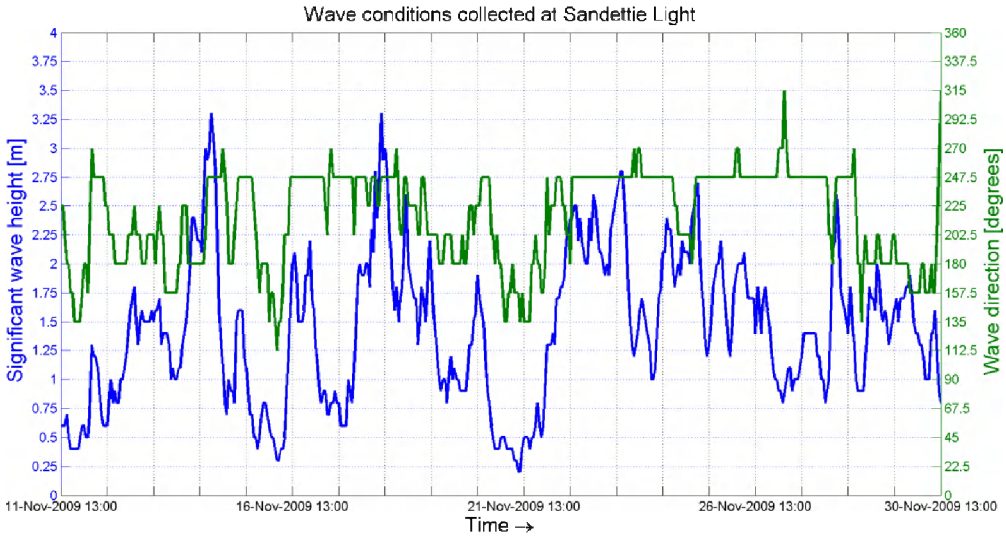


Figure 2-19 Wave conditions collected at Sandettie Lightship during the selected storm period

2.2.4 Validation

To validate the Delft3D-WAVE model, a comparison is made between the wave model results and the field measurements of the directional wave buoy at Westhinder. The validation is done by means of:

- A scatter diagram and a regression analysis of the significant wave height (cf. Figure 2-20);
- A time series plot of the significant wave height H_{m0}, the mean zero-crossing wave period T_{m02} and the wave direction (cf. Figure 2-21).

A quite good agreement is found between the modelled wave heights and the measured wave heights (cf. Figure 2-20), certainly considering the fact that the Westhinder buoy is located in

the main wave model with a coarse grid (1000 m x 1000 m). The spread of points around the regression line (red line in graph) is mainly due to the stationary mode of the simulations. In other words, the time it takes for a wave to travel from e.g. the Sandettie Lightship point to the Westhinder point and also variations in wind speed, direction and water level between time steps is not taken into account by the stationary simulations.

This good agreement is more apparent when comparing the time series (cf. Figure 2-21). The mean zero-crossing wave period T_{m02} and the wave direction time series also show quite good agreement. Due to a difference in calculation of the wave period T_{m02} in SWAN and in the buoy measurements (IMDC, 2009), a correction was applied to the T_{m02} values calculated by SWAN to account for this difference. This has no effect on the wave periods within the model.

Due to this good agreement between simulation and measurement, no further calibration was deemed necessary.

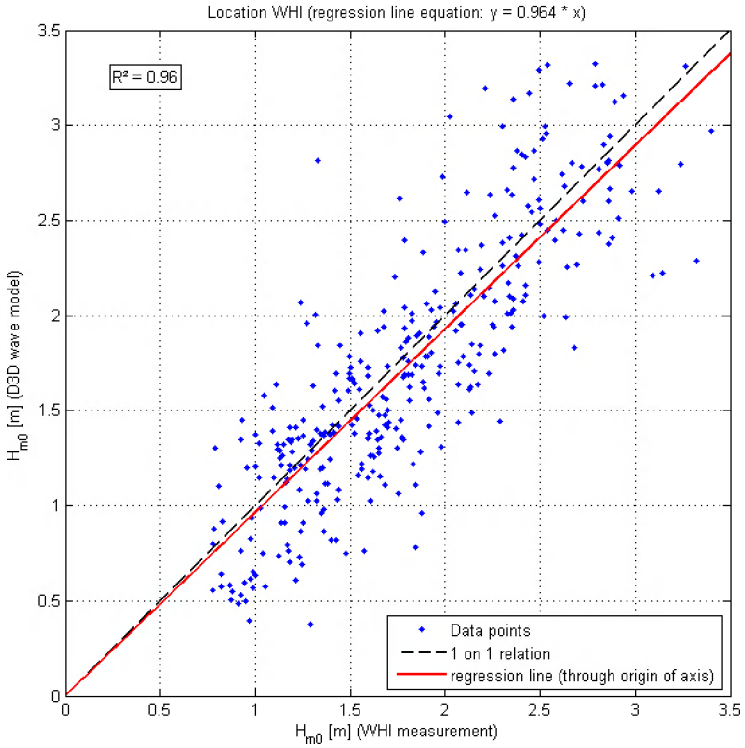


Figure 2-20 One-on-one relation between the significant wave height calculated by Delft3D-WAVE and measured at the Westhinder buoy location

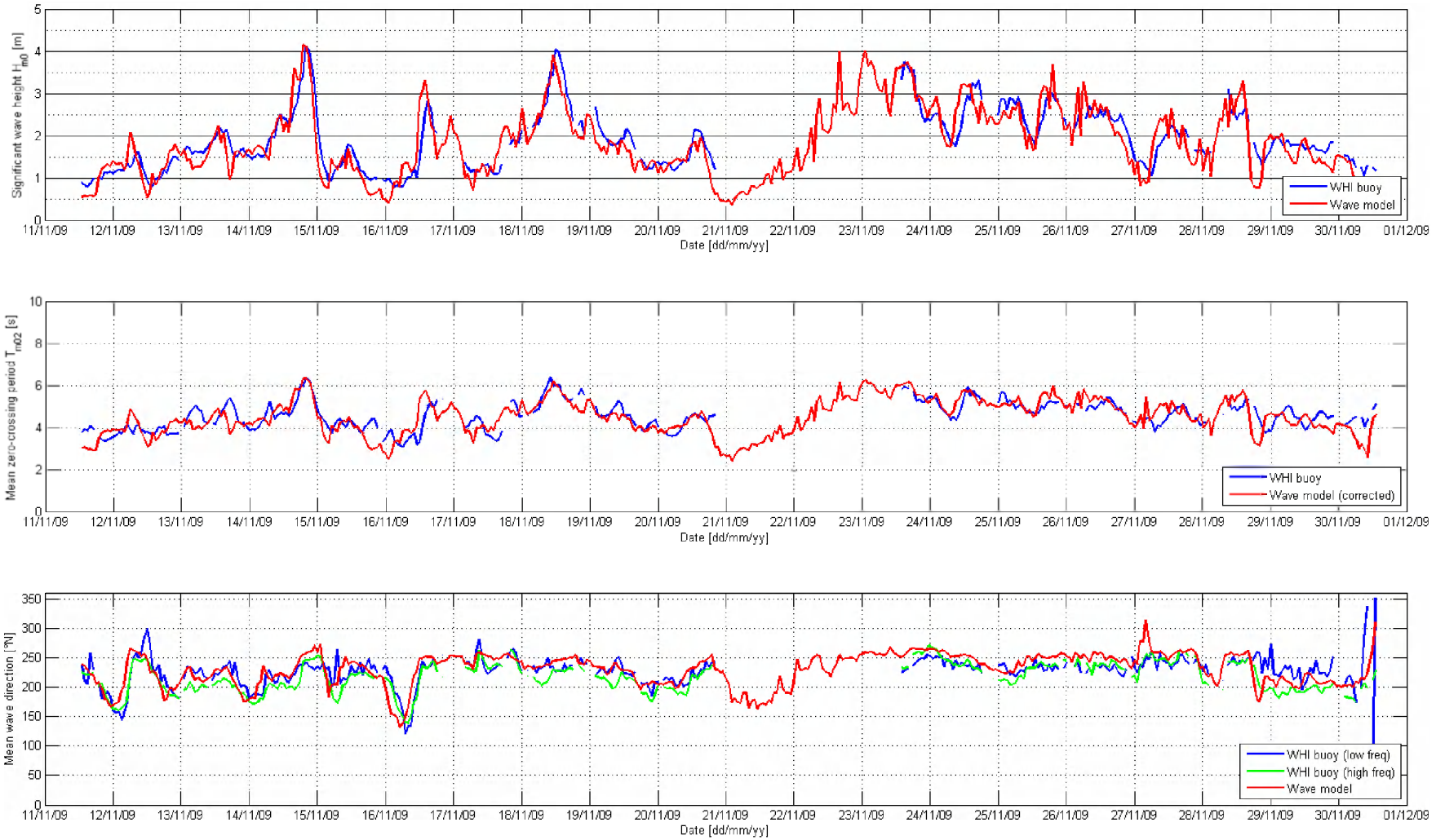


Figure 2-21 Validation of the Delft3D-WAVE model with field measurements of the directional wave buoy at the Westhinder bank. Comparison of the time series of the significant wave height H_{m0}, the mean zero-crossing wave period T_{m02} and wave direction

2.3 SEDIMENT TRANSPORT MODEL

For the sediment transport, the Van Rijn TRANSPOR2000 approach is employed in the model (Van Rijn, 2003). The bed load transport and suspended transport are distinguished based on the reference height, below which the movement of sediment is treated as bed load transport whereas above the movement of sediment is treated as suspended transport. More detailed information about the approach can be found in the Delft3D-FLOW User Manual.

2.3.1 Boundary conditions and median grain size

In this model, the boundary condition for the sediment is specified by “equilibrium” concentrations. The equilibrium concentration is a function of the local current velocity. By this specification, the sediment concentrations are equal to those just inside the model domain, near-perfectly adapted sediment flux flows into the domain with little sedimentation or erosion near the model boundaries (Delft3D-FLOW User Manual). In addition, the morphology is not updated in the modelling of the sediment transport.

According to the grain size distribution map (Figure 2-22), the sediments in the SeaStar Zone range between 200 and 500 µm. With the model, updating of the grain size distribution is not feasible. Therefore a space-uniform grain size has to be selected. The model has been run respectively with grain sizes of 200, 350 and 500 µm for the selected representative spring-neap tidal cycle. The three scenarios with different grain sizes demonstrate almost the same direction of residual sediment transport (results are not shown here). 200 µm logically shows the highest residual sediment transport, maximally triple as much as 500 µm, while 350 µm only displays slightly larger residual sediment transport than 500 µm. Due to the largest coverage rate of sand from 300 to 350 µm in the SeaStar Zone, a space-uniform grain size of 350 µm is adopted in the model. As a result, local sediment transport may be underestimated in the areas with smaller grain sizes (northern part near Dutch border) and overestimated in areas with coarser sediments (southern area).

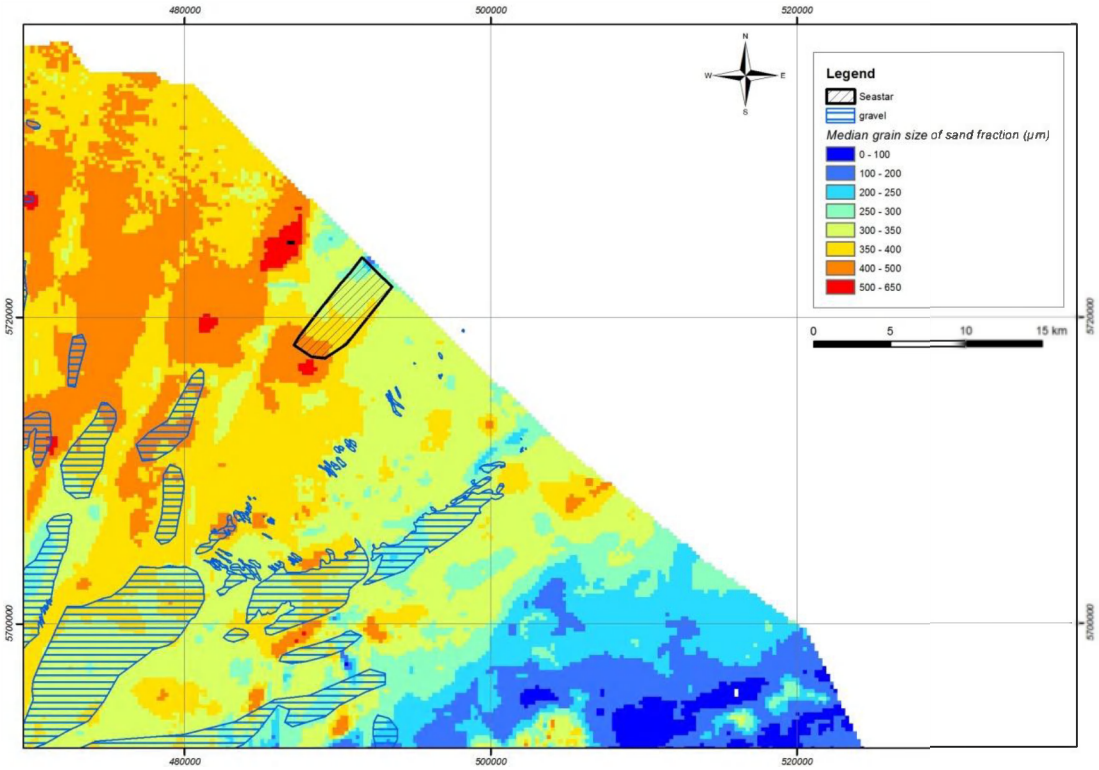


Figure 2-22 Map of the grainsize distribution (adapted after Verfaillie et al., 2006). The SeaStar concession zone is the black hatched area

3. RESULTS

3.1 SUMMER CONDITION (TIDAL CURRENTS ONLY)

In this study, the morphological evolution and the sediment transport in the SeaStar Zone are investigated during two conditions. In summer conditions, only tidal forcing is considered for the formerly selected representative spring-neap tidal period. While in winter conditions, the tidal and wave forcings are coupled together in model.

Figure 3-1 shows that the SeaStar Zone is situated between two large banks, indicated by the -25 m isobath contour lines (the western one is Blighbank; the eastern one is Lodewijkbank). The red cross and triangle indicate the location of points for inspection of time series modelling results.

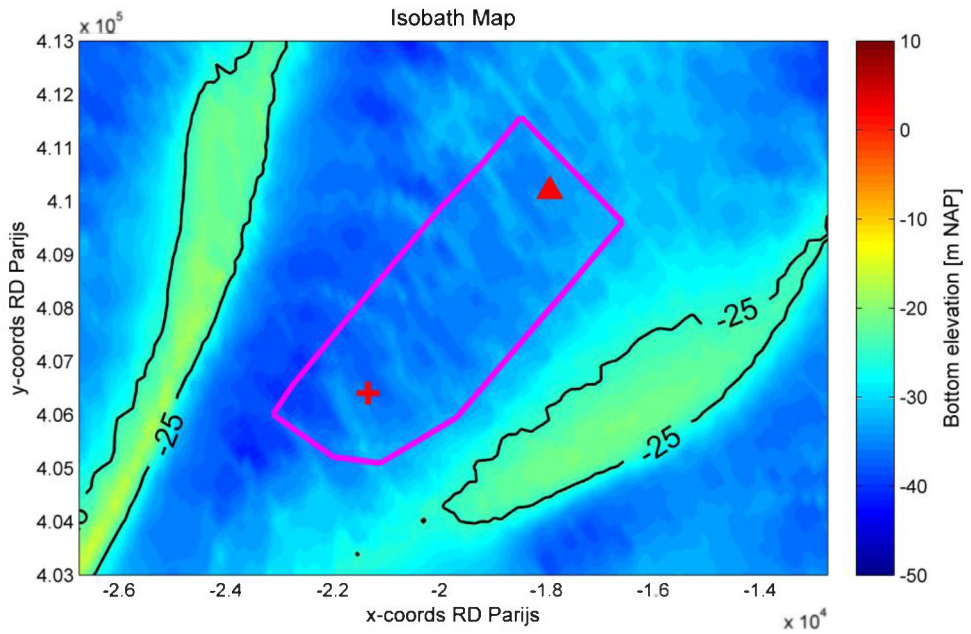


Figure 3-1 Bathymetry map with isobath contour lines of -25 m NAP; red cross and triangle label two points in the SeaStar Zone for inspection of time series variables

3.1.1 Currents

The tidal current velocity and elevation at two points in the SeaStar Zone (cf. Figure 3-1) are presented in Figure 3-2 and Figure 3-3. The time series modelling results are displayed for the selected representative spring-neap tidal period. The currents are completely driven by tidal forcing without any meteorological forcing.

The red cross point is located at a slightly shallower area, showing a little stronger current compared to the red triangle point. The difference of current velocity between these two points is, however, quite small, maximally not more than 10%. The current velocity at these two points roughly ranges between 0.07 and 1.00 m/s.

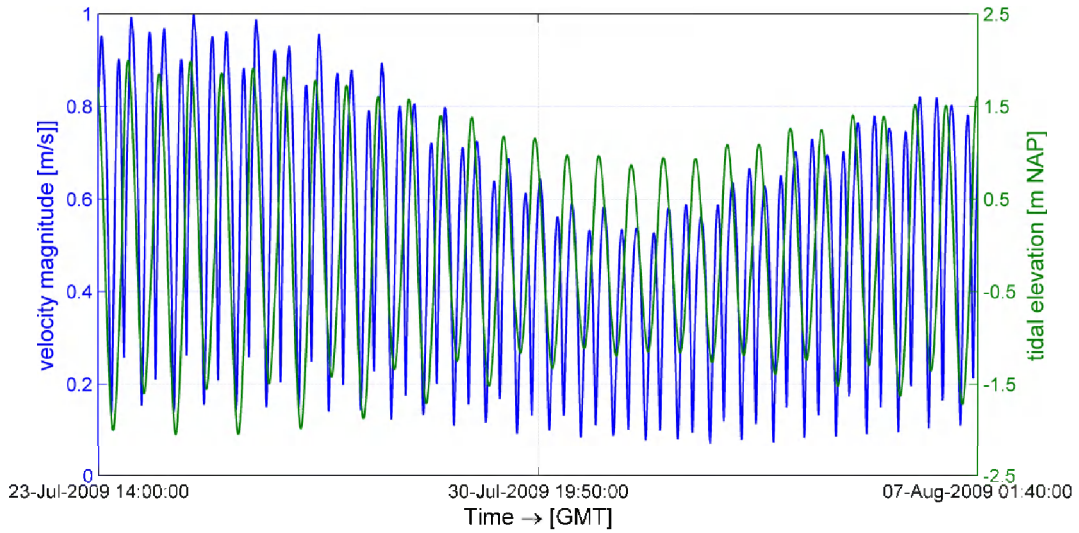


Figure 3-2 Time series showing current velocity magnitude and tidal elevation at the red cross point

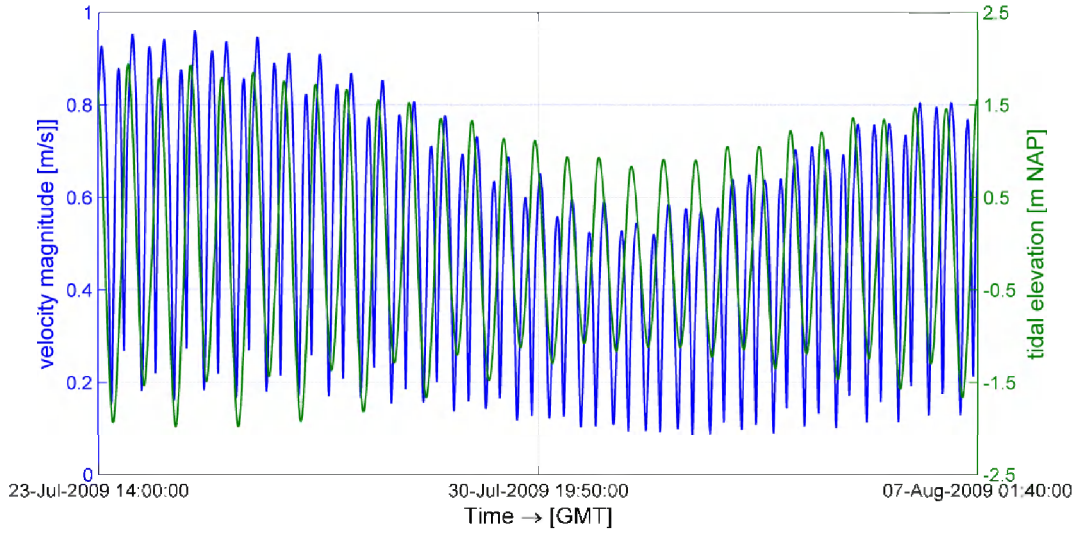


Figure 3-3 Time series showing current velocity magnitude and tidal elevation at the red triangle point

Figure 3-4 displays the tidal current ellipses in the area in and around the SeaStar Zone. Currents in the SeaStar Zone show a large eccentricity with smaller velocity at the minor axis during the flow reversal, while those at the top of the banks are more rotary with larger velocities at the minor axis during the flow reversal, in particular at the Lodewijkbank.

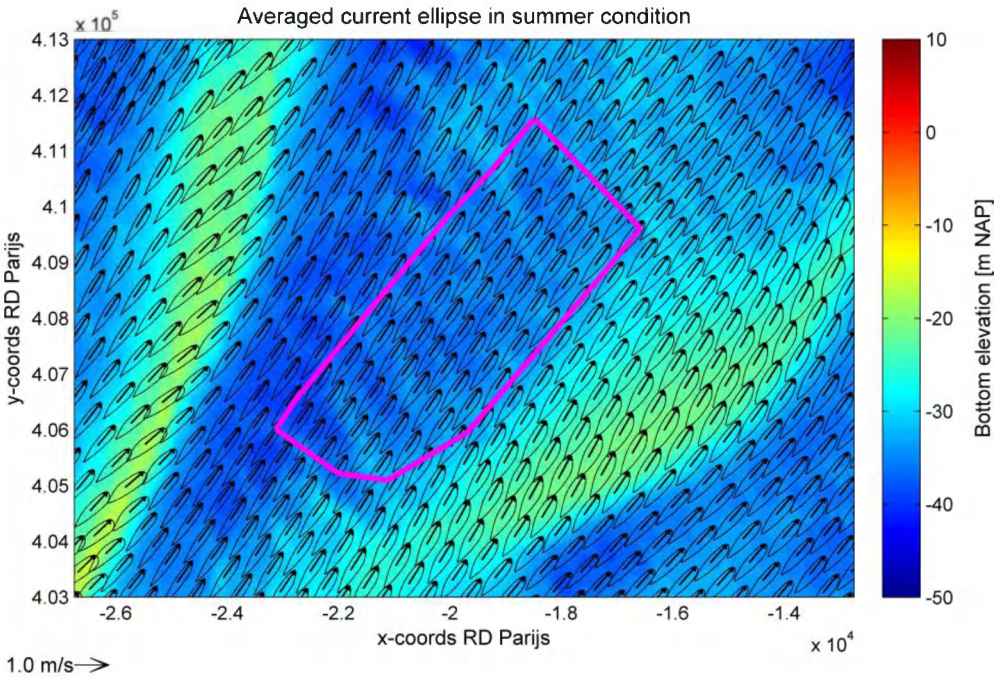


Figure 3-4 Map of averaged current ellipses in summer conditions with bathymetry as background; the averaged current ellipses are calculated over the representative spring-neap tidal cycle; the grid resolution of one ellipse is about 600m × 300m.

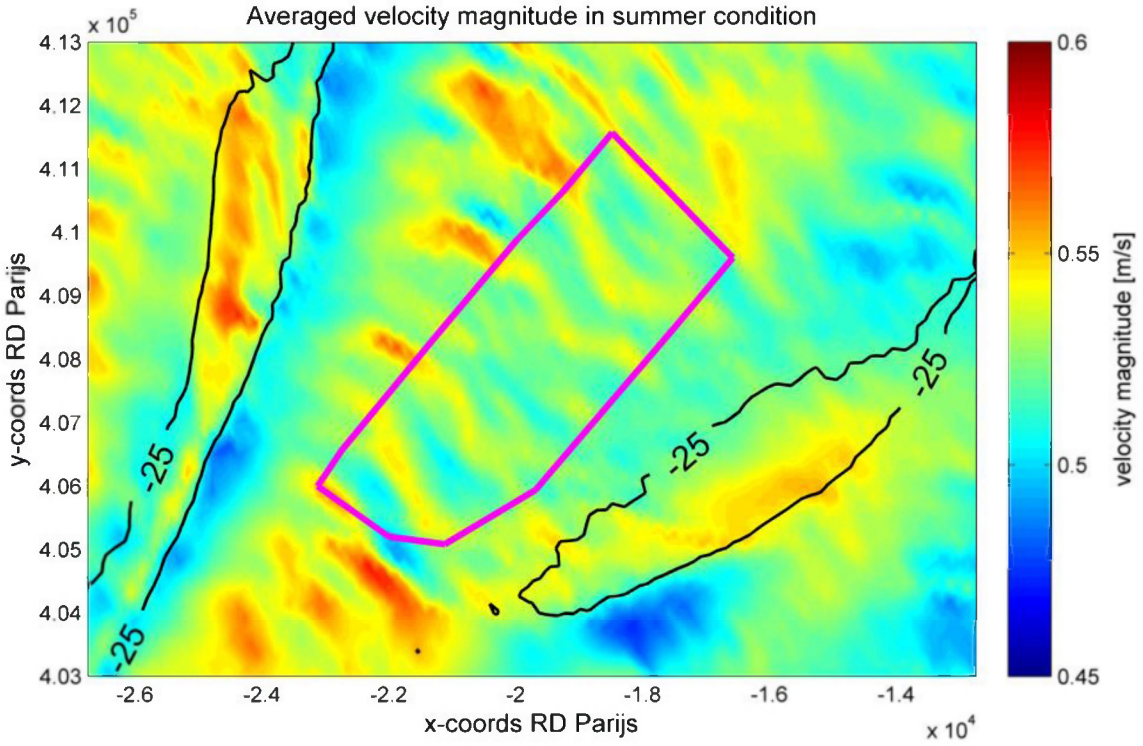


Figure 3-5 Map of averaged current velocity magnitude calculated over the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions with isobath lines of -25 m NAP

Figure 3-5 and Figure 3-6 give respectively the averaged and maximal velocity magnitude over the representative spring-neap tidal cycle. In Figure 3-5 strong currents are shown to occur at the top of Blighbank, and the hydrodynamic forcing in the SeaStar Zone seems to be relatively mild. However in Figure 3-6 strong hydrodynamic forcing could be found in the SeaStar Zone. The averaged velocity magnitude in the SeaStar Zone ranges between 0.50 and 0.56 m/s, and the maximal velocity can reach 1.09 m/s at the northern boundary of the SeaStar Zone.

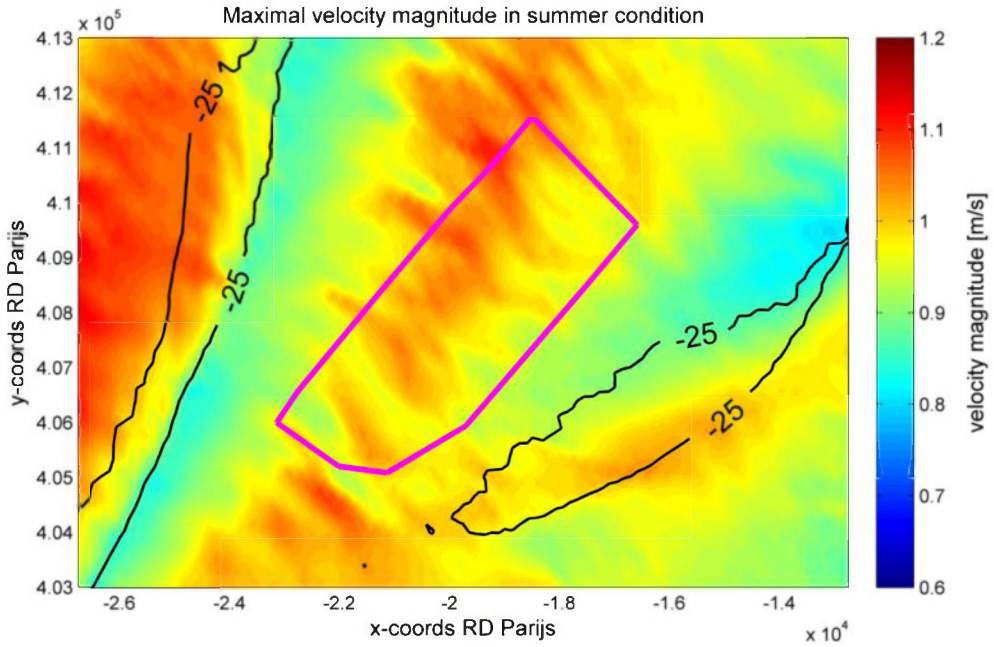


Figure 3-6 Map of maximal current velocity magnitude over the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions with isobath lines of -25 m NAP

The residual currents presented in Figure 3-7 and Figure 3-17 take the local water depth into account at each point. The calculation of the residual current follows the formulation as below:

---

where and h_i are current velocity and water depth for a certain location at the time point i, and h is the local real water depth without the effect of tidal elevation change.

Figure 3-7 shows that residual currents flow from southwest to northeast (without any effect of meteorological forcing). The residual currents are apparently lower in the SeaStar Zone compared to those over the banks. The highest residual current reaches around 0.14 m/s and occurs at the top of the Blighbank. In the SeaStar Zone, the residual current is around 0.08 m/s, and the maximal one reaches around 0.11 m/s at the northern boundary.

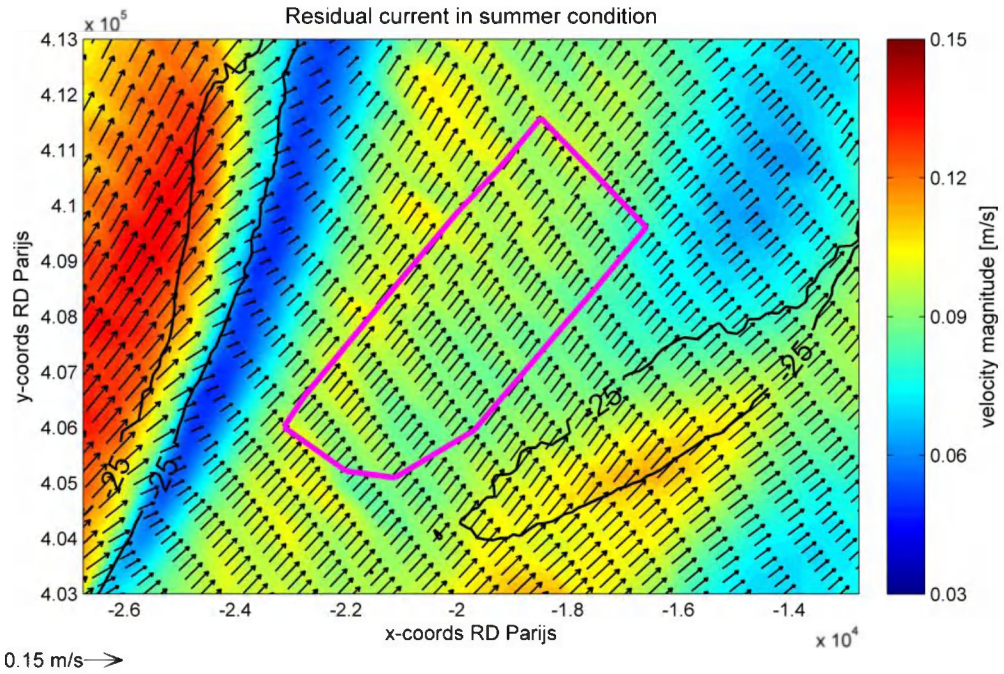


Figure 3-7 Map of the residual current calculated over the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions with residual velocity magnitude as background and isobath lines of -25 m NAP

3.1.2 Bottom shear stress

In summer conditions, under tidal forcing only, the distribution of the bottom shear stress coincides with that of the velocity magnitude. Figure 3-8 and Figure 3-9 respectively show the averaged and maximal bottom shear stress over the representative spring-neap tidal cycle. In the SeaStar Zone the averaged bottom shear stress ranges between 0.71 and 0.90 Pa, and the maximal one reaches around 2.90 Pa.

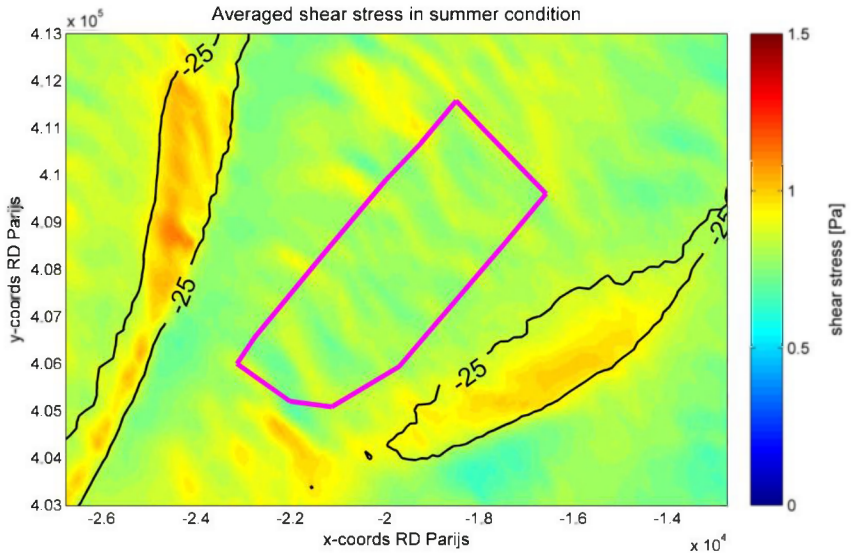


Figure 3-8 Map of the averaged shear stress magnitude calculated over the representative spring-neap tidal cycle in summer condition with isobath lines of -25m

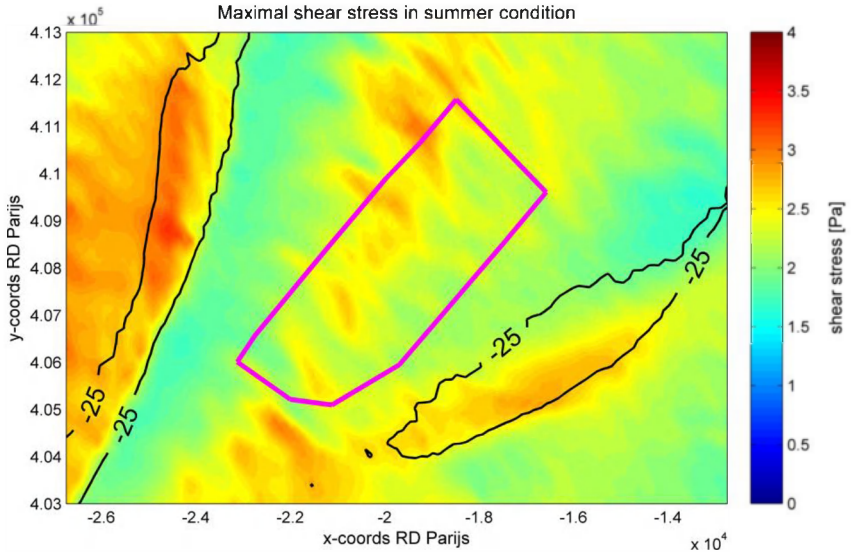


Figure 3-9 Map of maximal shear stress magnitude over the representative spring-neap tidal cycle in summer condition with isobath lines of -25m

3.1.3 Sediment transport and morphological evolution

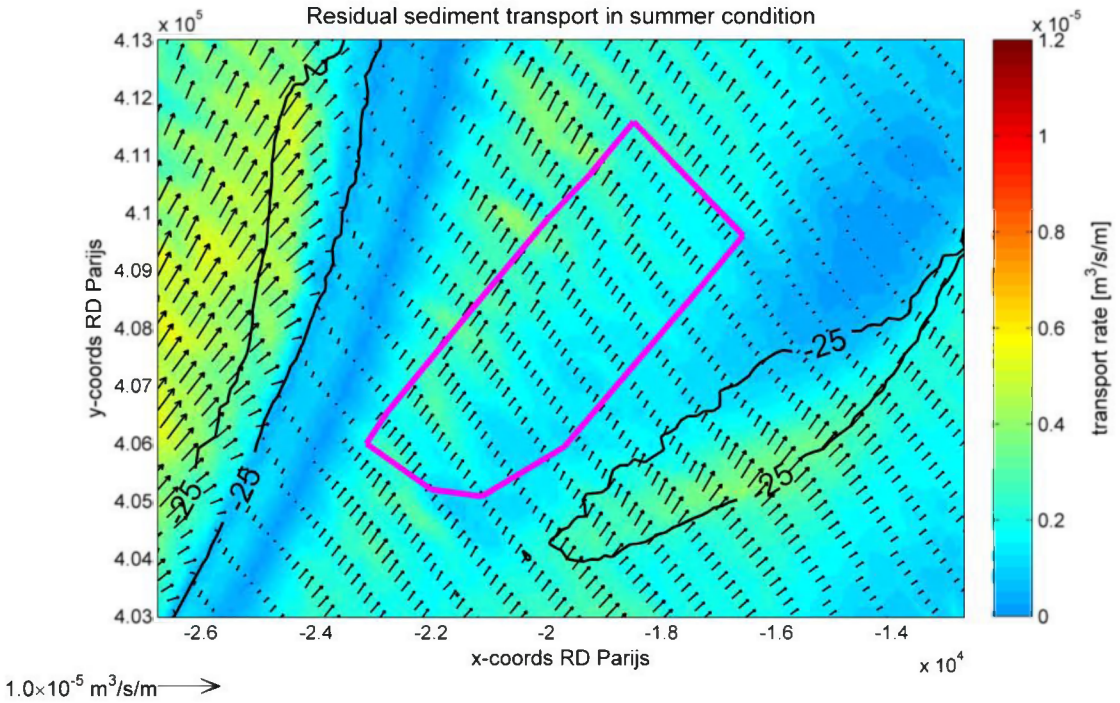


Figure 3-10 Map of residual sediment transport calculated over the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions with transport rate as background and isobath lines of -25 m

In the sediment transport model, the morphology update was not taken into account. Therefore sedimentation and erosion are not able to cause any change on the initial bathymetry. Figure 3-10 shows that the residual sediment transport is generally consistent with the residual current presented in Figure 3-7. Most of the residual sediment transport is directed to the northeast and the largest transport rate takes place at the top of Blighbank. In the SeaStar Zone the residual sediment transport is relatively mild, and the highest one is not larger than 4.0×10^{-6} $m^3/s/m$. Sediment transport is largest in the NW area where the shallowest dunes occur. From Figure 3-11, it can be also seen that in the SeaStar Zone the change of sediment thickness on the bed after a spring-neap cycle is limited to around 0.04 m.

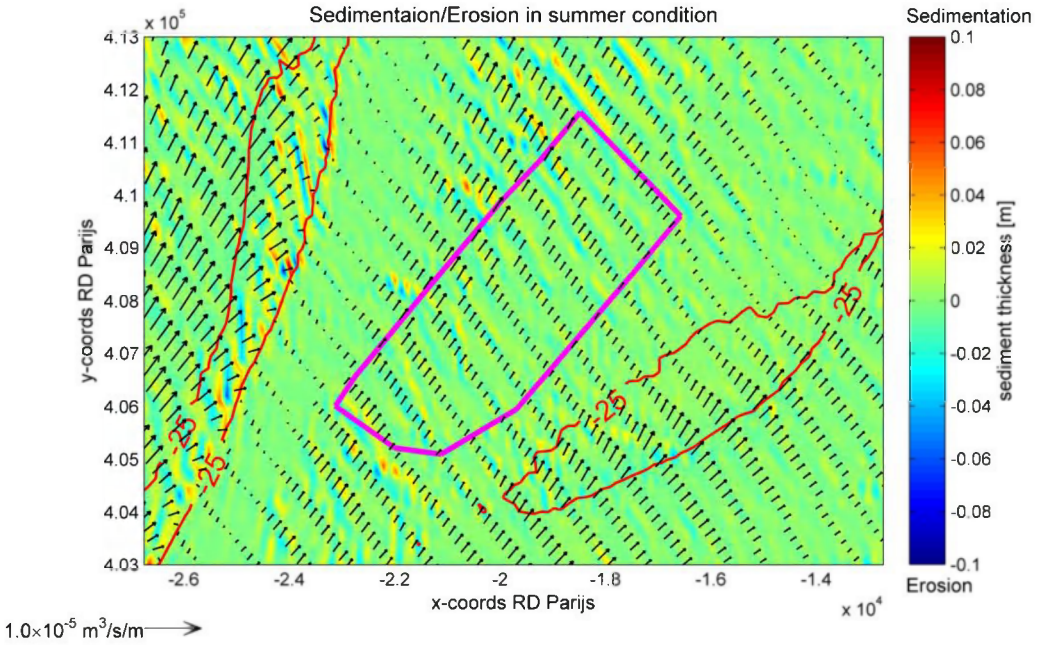


Figure 3-11 Map of sedimentation and erosion calculated over the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions with vectors of residual sediment transport and isobath lines of -25 m NAP

The modelling results demonstrate a very good correlation between the current velocity magnitude variations over the spring-neap tidal cycle and the sediment transport rate (Figure 3-12). The largest transport reaches over 5.6×10^{-5} $m^3/s/m$ during spring tide, whereas during neap tide the transport rate is reduced by a factor of more than 10, and is not more than 5×10^{-6} $m^3/s/m$. The resulting sediment transport volume (without porosity) over the spring-neap tidal cycle (23-Jul 14:00 ~ 07-Aug 01:40) is 7.28 m^3/m at the observation point. Over the full spring tide (red line in Figure 3-12, 24-Jul 07:10 ~ 25-Jul 08:00) it is 1.33 m^3/m and over the neap tide (magenta line in Figure 3-12, 01-Aug 01:40 ~ 02-Aug 02:30) it is 0.036 m^3/m.

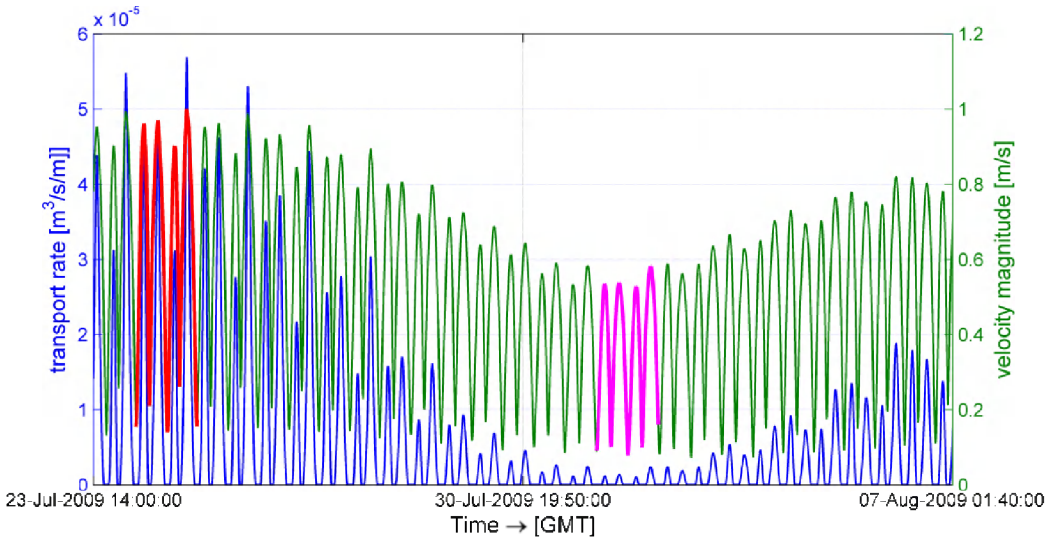


Figure 3-12 Time series of modelled sediment transport and velocity magnitude during the representative spring-neap tidal cycle in summer conditions at the red cross point

3.2 WINTER CONDITION (TIDES + WAVES)

For the winter conditions, a one-year-return storm is simulated by the wave model, which is coupled with the flow model to simulate the sediment transport during the representative spring-neap tidal cycle.

3.2.1 Currents and waves

In order to consider the worst case scenario, the wave peak of the one-year-return storm is shifted to the lowest water at spring tide (cf. red arrow in Figure 3-13).

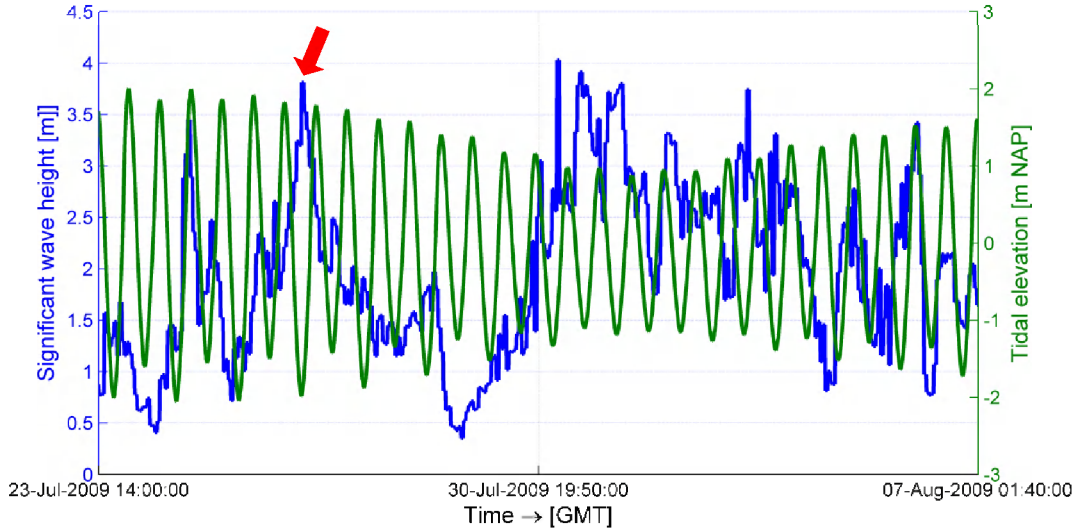


Figure 3-13 Time series of modelled significant wave height and tidal elevation during the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions at the red cross point

Compared to the summer conditions, current velocities in winter conditions do not exhibit a pronounced difference (Figure 3-14, Figure 3-15, Figure 3-16 and Figure 3-17). Currents in the SeaStar Zone are less rotary with smaller velocities at the minor axis during the flow reversal (Figure 3-14). The averaged velocity magnitude in the SeaStar Zone ranges between 0.50 and 0.56 m/s, and the maximal one is lower than 1.11 m/s (Figure 3-15 and Figure 3-16). The residual current appears to be relatively temperate in the SeaStar Zone, and the maximal is around 0.10 m/s at the northern boundary.

Figure 3-18 and Figure 3-19 present the significant wave height calculated by the wave model. In the SeaStar Zone, the resolution of the computational grids in the wave model is around 235 m × 340 m to 110 m × 180 m, in which the two large banks Blighbank and Lodewijkbank are explicitly described. It can be clearly seen from the figures that the wave from the southwest is drastically dissipated when it travels over the banks, in particular the Lodewijkbank. The averaged significant wave height in the SeaStar Zone is around 2.0 m during the storm period, and the maximal one reaches about 3.9 m.

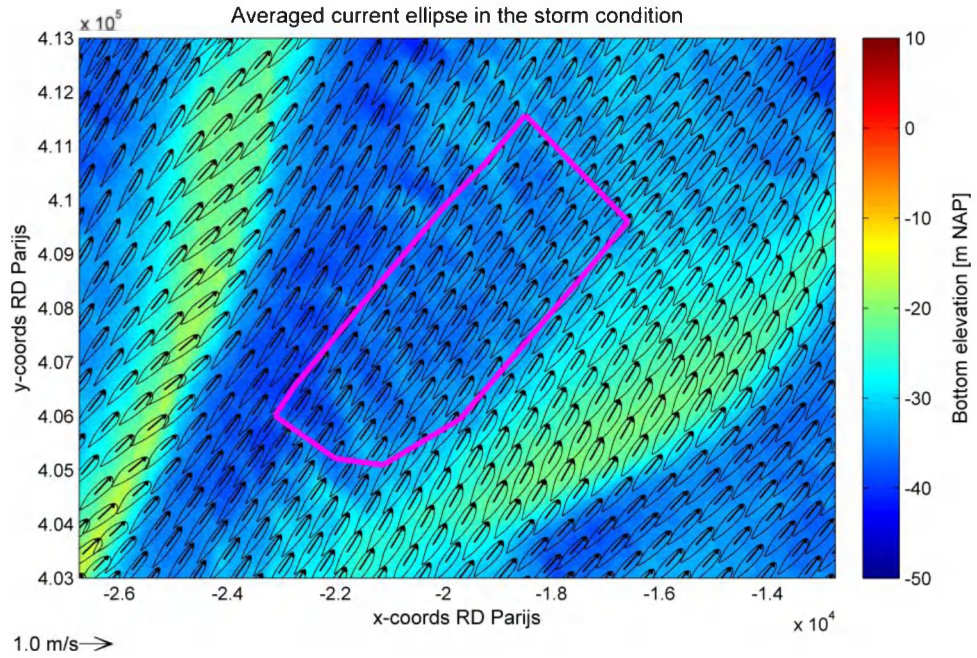


Figure 3-14 Map of averaged current ellipses in winter conditions with bathymetry as background; the averaged current ellipses are calculated over the representative spring-neap tidal cycle; the grid resolution of one ellipse is about 600 m × 300 m

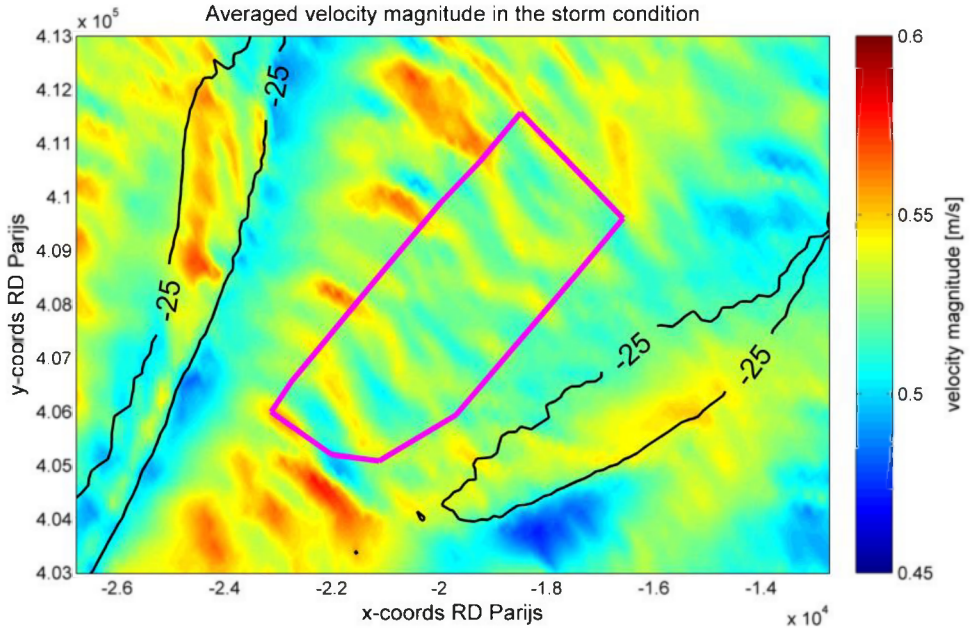


Figure 3-15 Map of averaged current velocity magnitude calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

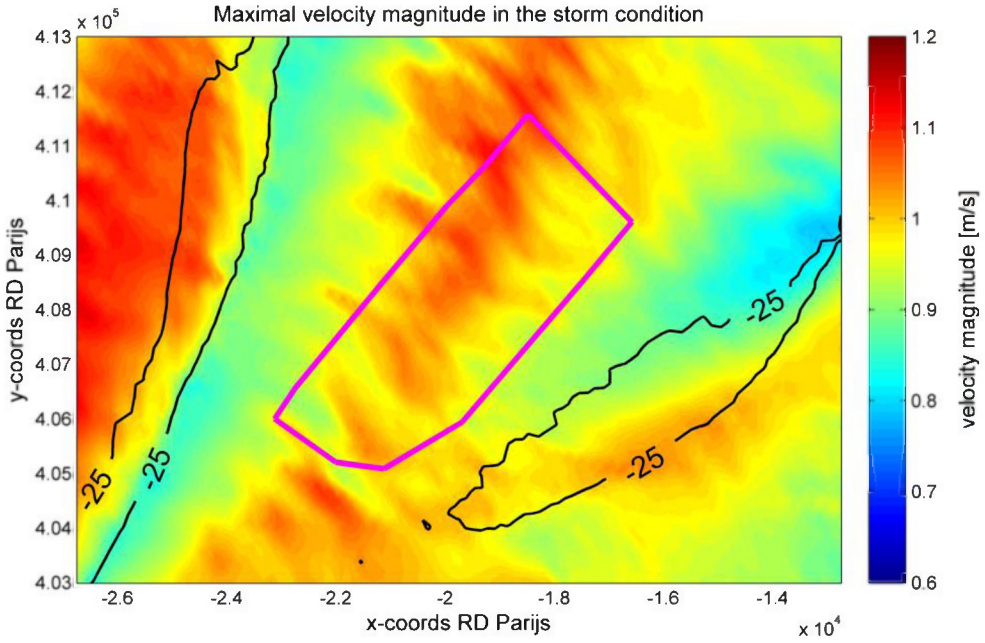


Figure 3-16 Map of maximal current velocity magnitude over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

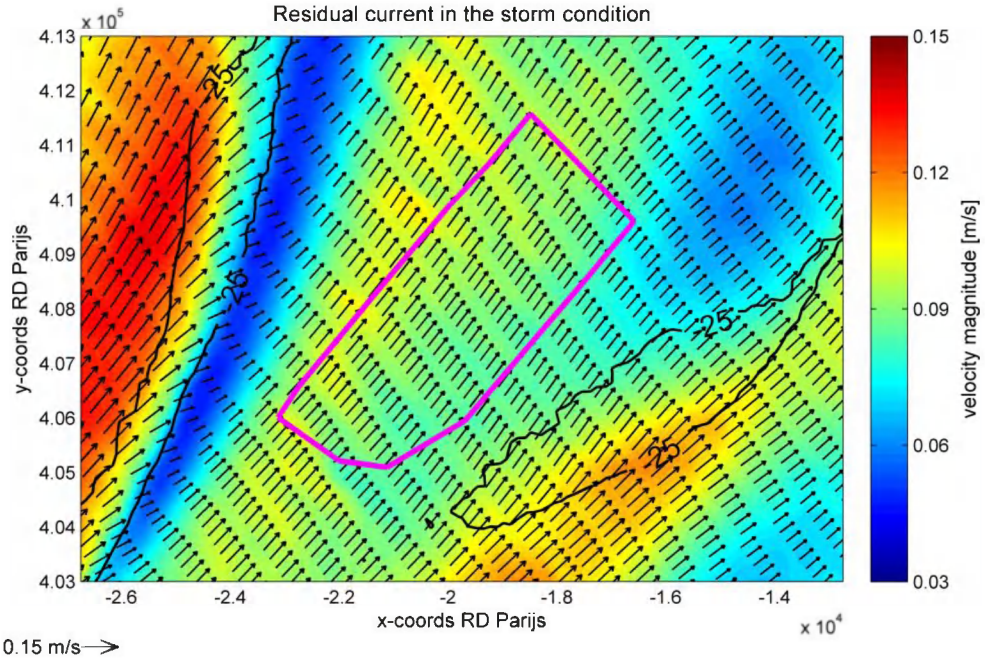


Figure 3-17 Map of residual current calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with residual velocity magnitude as background and isobath lines of -25 m NAP

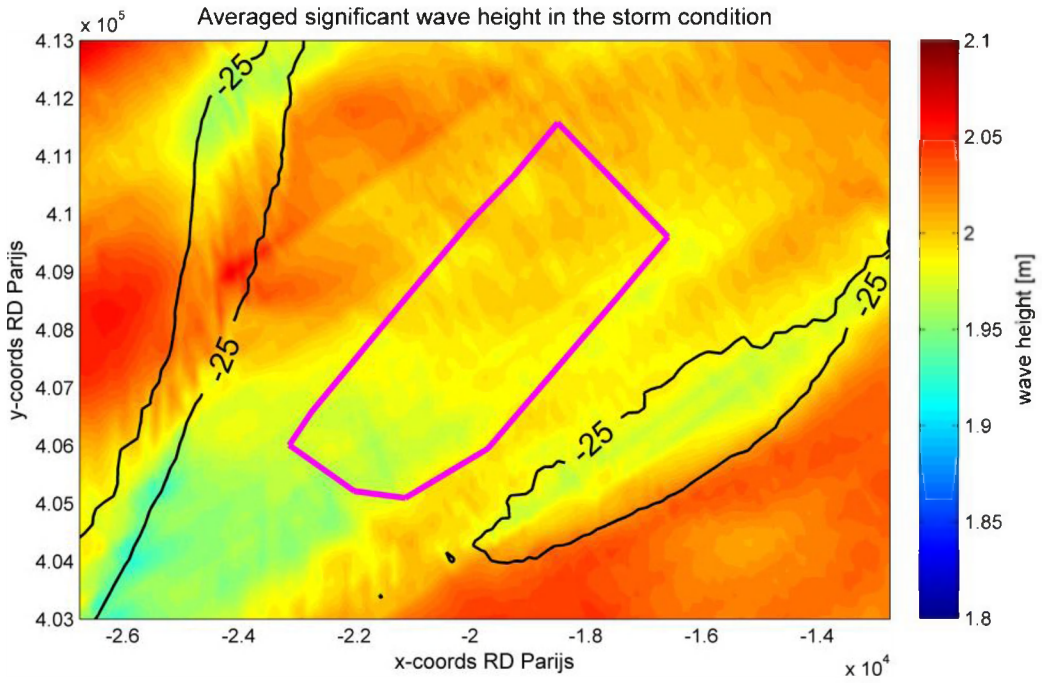


Figure 3-18 Map of averaged significant wave height calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

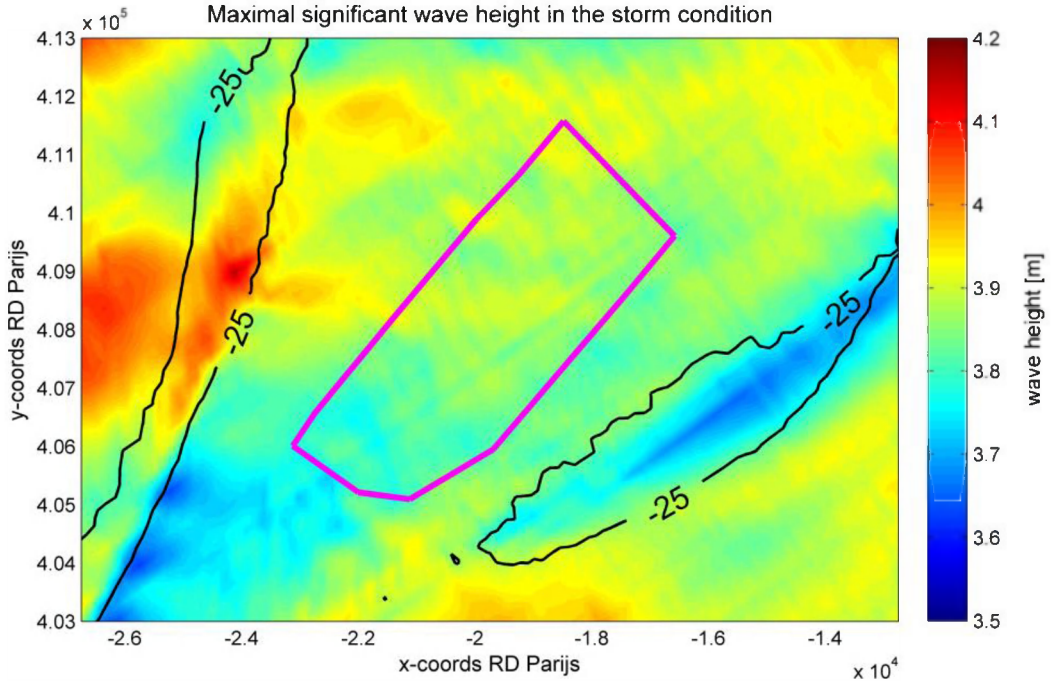


Figure 3-19 Map of maximal significant wave height over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

3.2.2 Bottom shear stress

The distribution pattern of bottom shear stress can be evidently distinguished by the isobath lines of -25 m. The shear stress at the banks contoured by the isobath lines is manifestly larger than that in the other areas. The averaged shear stress magnitude in the SeaStar Zone ranges between 1.03 and 1.73 Pa, and the maximum reaches around 6.75 Pa.

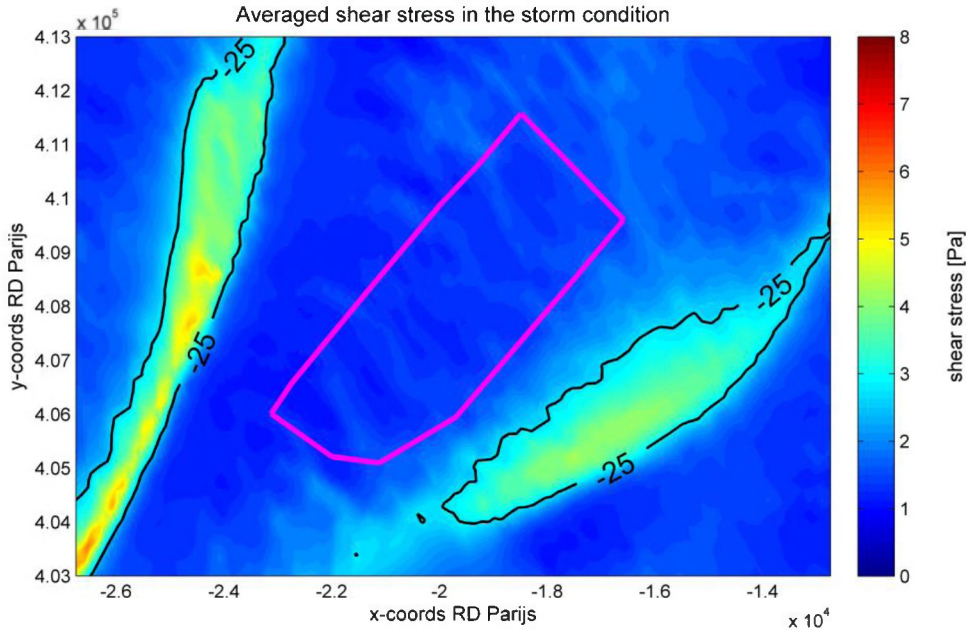


Figure 3-20 Map of averaged shear stress magnitude calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

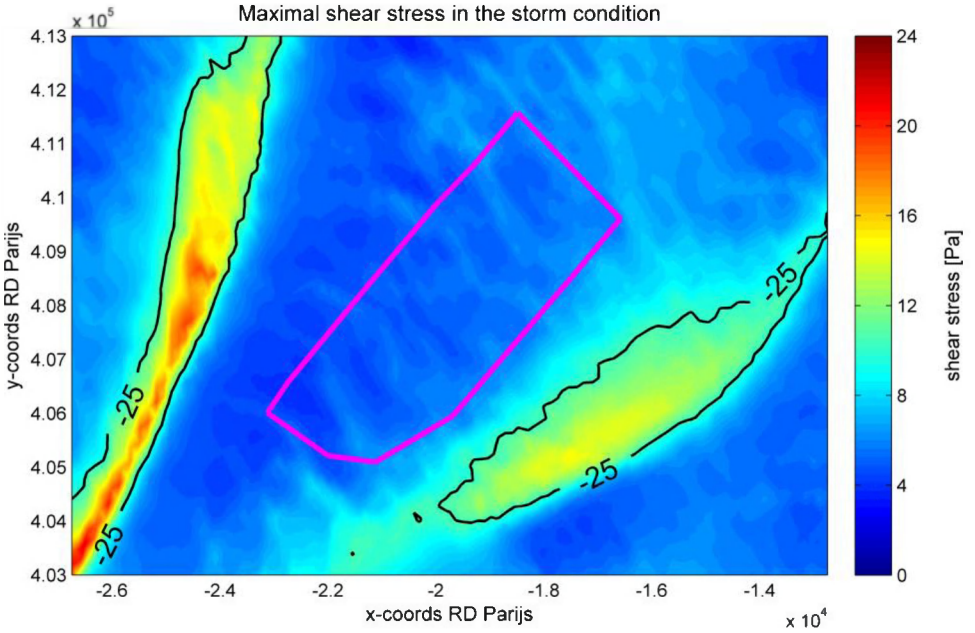


Figure 3-21 Map of maximal shear stress magnitude over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with isobath lines of -25 m NAP

3.2.3 Sediment transport and morphological evolution

The pattern of residual sediment transport has not changed in winter conditions compared to that in summer conditions (Figure 3-22). The transport rate at the top of the banks seems to be more visibly enhanced than in other locations. The largest residual sediment transport in the SeaStar Zone is about 5.5×10^{-6} $m^3/s/m$ and occurs in the N and NW area where a sand dune field occurs.

The pattern of sedimentation and erosion in winter conditions is also quite consistent with that in summer conditions (Figure 3-23). Corresponding to the enhancement of the transport rate at the top of the banks, more visible changes of sediment thickness can be observed at these locations. In the SeaStar Zone, the maximal morphological changes on the seabed are in the order of 6.0 cm after a spring-neap-tidal cycle of 15 days. However, these results should not be extrapolated to long term estimations on dune migration, as detailed dune migration processes and morphology updating are not taken into account of the model. Although the resolution of the model is not capable of describing individual sand dunes sufficiently, some lateral alternating bands can be observed in Figure 3-23, which might represent vertical erosion and sedimentation on adjacent crests and troughs of sand dunes.

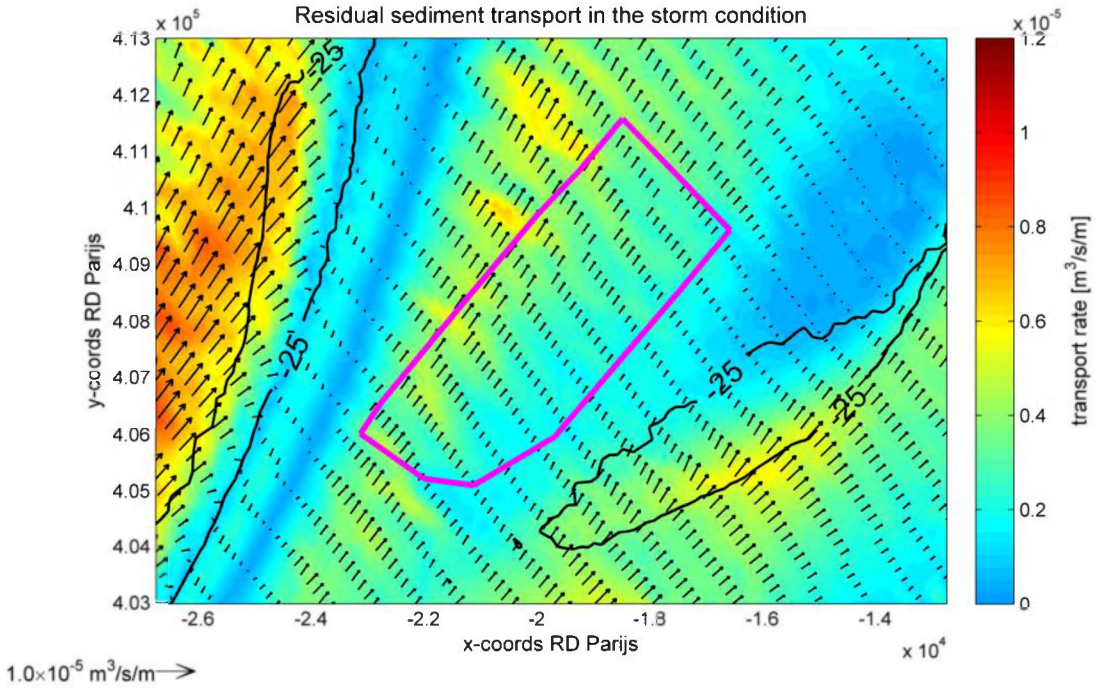


Figure 3-22 Map of residual sediment transport calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with transport rate as background and isobath lines of -25 m NAP

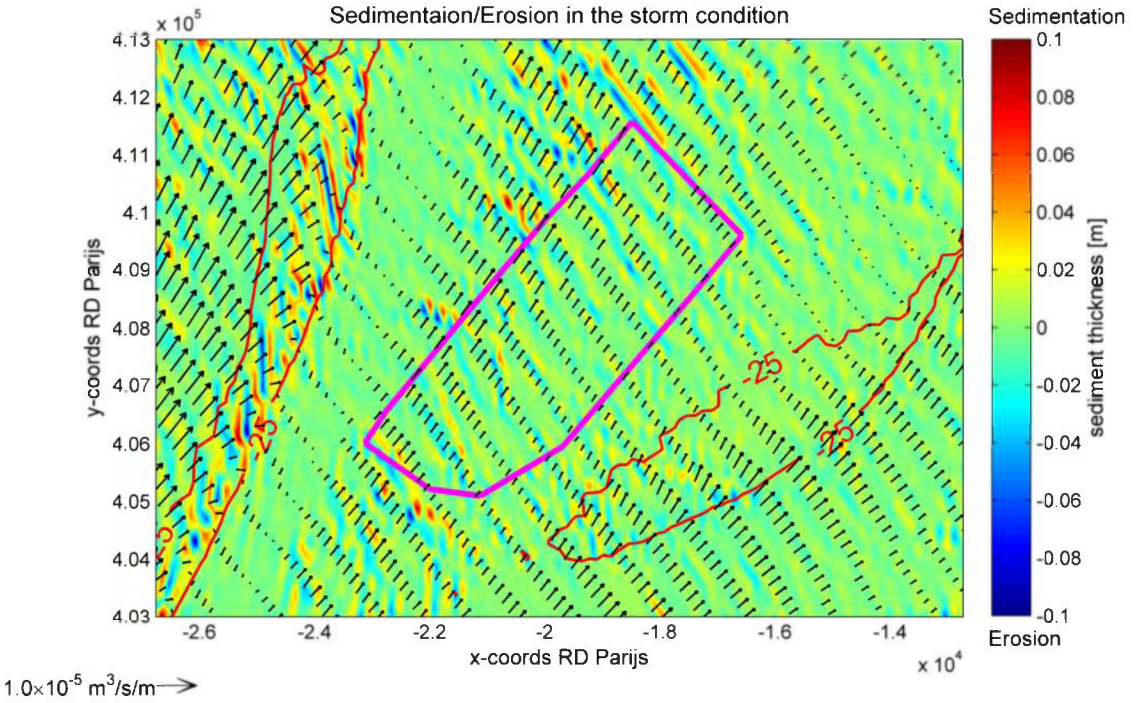


Figure 3-23 Map of sedimentation and erosion calculated over the representative spring-neap tidal cycle in winter conditions with vectors of residual sediment transport and isobath lines of -25 m NAP

4. DISCUSSION

The difference of sediment transport between the summer and winter conditions at two observation points (cf. red cross and triangle shown in Figure 3-1) are presented in Figure 4-1 and Figure 4-2 respectively. These two figures show a very similar variation of sediment transport in case of only tides and in case of a combination of tide and waves. From these figures, can be concluded that in winter conditions the sediment transport is not only dependent on the significant wave height, but that the tidal current plays an important role on it. In fact the significant wave height is continuously large for about 4 days after 30 July, but during this period the sediment transport is not raised to a very high level by these conditions. Compared to the transport level in summer conditions, the transport rate is doubled under the effects of waves, but the absolute level is still quite low due to the weak tidal current at neap tide.

While during the period between 23 July and 30 July, the sediment transport is able to reach a very high level when the large wave occurs concurrently with the strong current at spring tide. In this case, the sediment transport is also doubled compared to that affected by tides only.

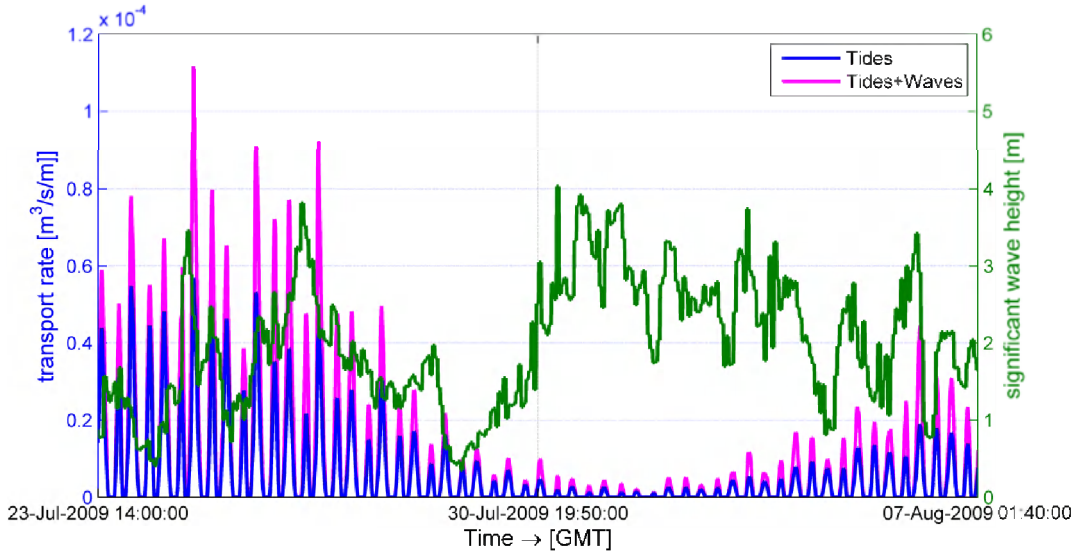


Figure 4-1 Time series of modelled sediment transport in summer and winter conditions, and modelled significant wave height in winter conditions at the red cross point

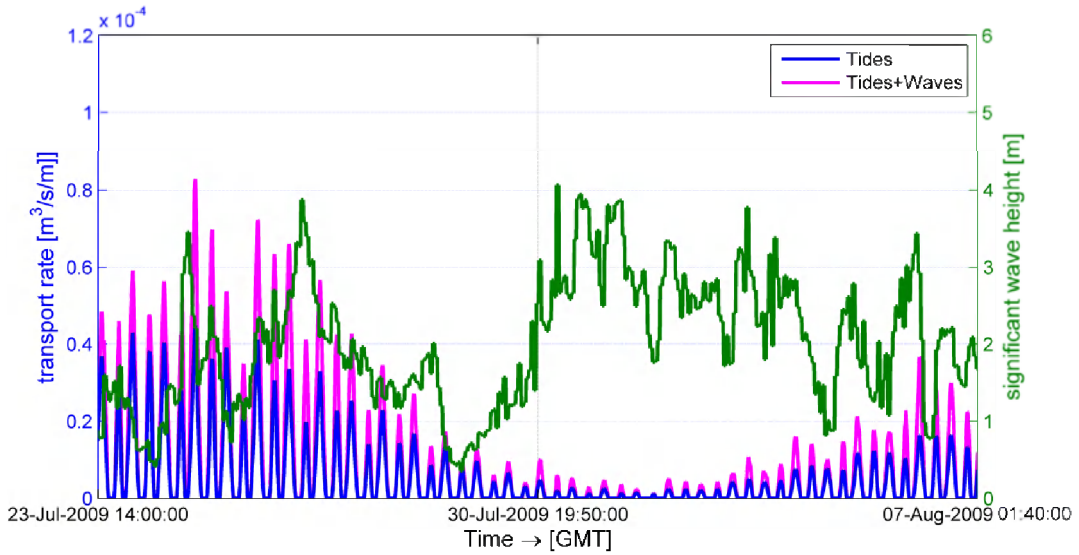


Figure 4-2 Time series of modelled sediment transport in summer and winter conditions, and modelled significant wave height in winter conditions at the red triangle point

At both observation points, sedimentation takes place (Figure 4-3 and Figure 4-4). At spring tide the sedimentation increases quite fast, while at neap tide the increase becomes very slow. During the whole spring-neap tidal period, the sedimentation is about 0.0042 m at the cross point and 0.0088 m at the triangle point in summer conditions with the effect of only tides, while in winter conditions the sedimentation is increased by about 55% and 64% at the cross and triangle points respectively under the effects of tides and waves.

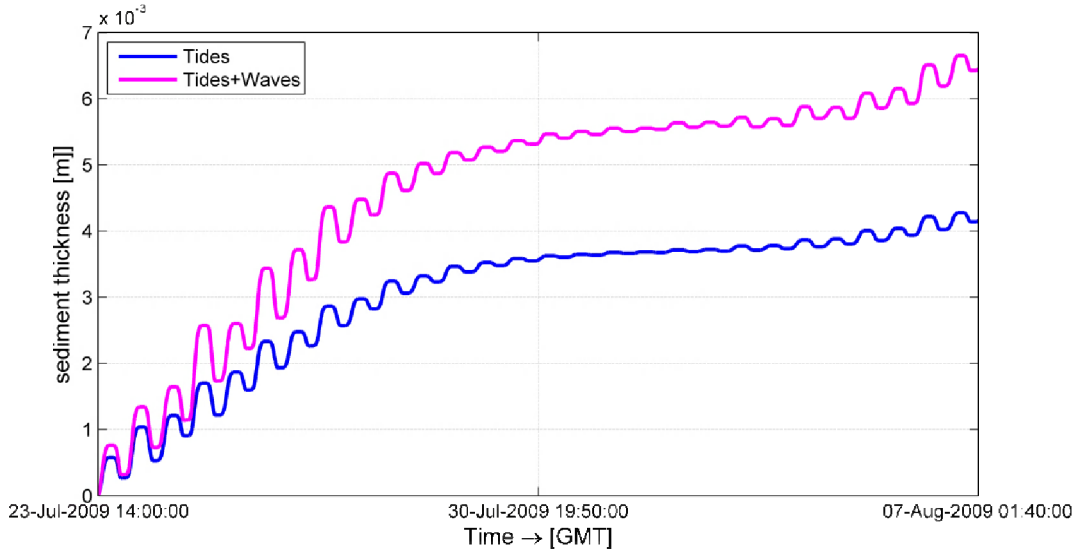


Figure 4-3 Time series of modelled change of sediment thickness in summer and winter conditions at the red cross point

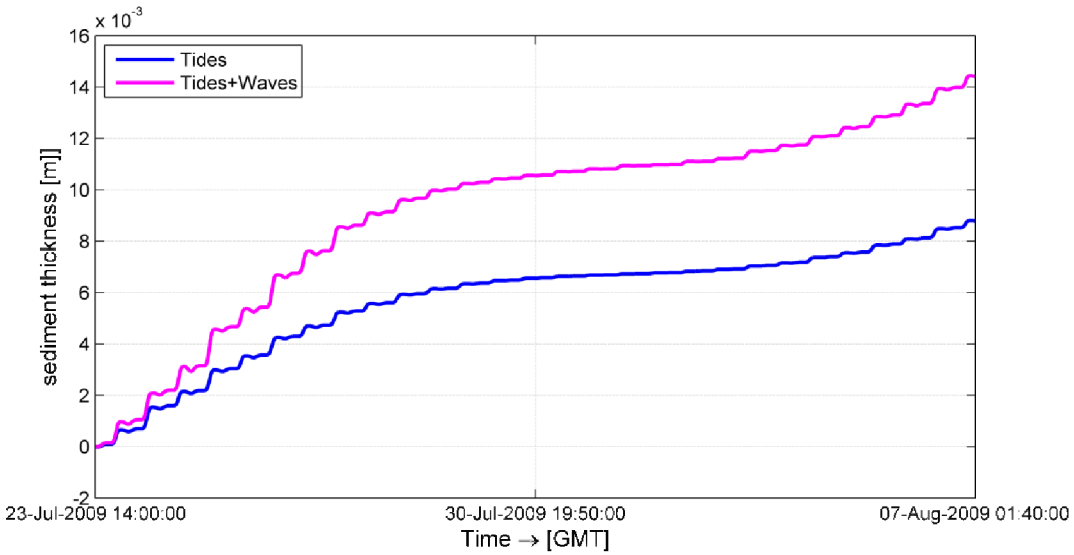


Figure 4-4 Time series of modelled change of sediment thickness in summer and winter conditions at the red triangle point

5. CONCLUSIONS

In this study, the hydrodynamic model Delft3D-FLOW and standalone wave model Delft3D-WAVE were firstly validated against the measured data in the neighbourhood of the study area. The tidal current at Lodewijkbank seems to be overestimated approximately 25% by the model. This could be attributed to the overestimation of the tidal range due to the boundary conditions generated by the mother model, and to the insufficient resolution of the computational grids to resolve the highly complex topography at the sandbanks. However, variation characteristics of tidal current and elevation were reproduced quite well by the model, and the agreement between the modelling results and measured data is satisfactory. The wave characteristics under storm conditions (with one-year-return period) were also successfully reproduced by the wave model in view of the comparison of significant wave height, wave period and wave direction between the modelling results and measured data.

The sediment transport in the SeaStar Zone is calculated separately for summer conditions and winter conditions. In summer conditions, the sediment transport is only affected by tidal currents. The residual current flows from the southwest to northeast. In the SeaStar Zone, the currents are less rotary than those at its surrounding banks. The averaged velocity magnitude ranges between 0.50 and 0.56 m/s, and the maximum is 1.09 m/s at the northern and north-western boundary of the SeaStar Zone where sand dune field occurs. The residual sediment transport in the SeaStar Zone is relatively mild, and the maximum is not larger than 4.0×10^{-6} $m^3/s/m$. The map of sedimentation and erosion shows that the change of sediment thickness on the seabed is limited to a level of around 4 cm in the SeaStar Zone during the representative spring-neap tidal period.

In winter conditions, the sediment transport is affected by combination of tidal currents and waves. To consider the worst case, a peak of waves is intentionally shifted to the lowest water at spring tide. The patterns of current velocity do not seem to be significantly affected by the wave coupling. However, the bottom shear stress is evidently enhanced from 0.71-0.90 Pa in summer conditions to 1.03-1.73 Pa in winter conditions, and the maximum is locally around 6.75 Pa in the SeaStar Zone. The sediment transport is not only dependent on the significant wave height, the tidal current also plays an important role on it. The largest transport takes place at the moment when the currents and waves are both large. The largest residual sediment transport in the SeaStar Zone is about 5.5×10^{-6} $m^3/s/m$ over the representative spring-neap tidal cycle, and the erosion and sedimentation is in the order of 6 cm over the vertical. The seabed in the SeaStar Zone appears to be not influenced strongly over the modelled period in case of storm conditions with one-year-return period. Dune migration rates on the long term cannot be deduced from these results, although it is expected that dune mobility is lower in the swales between sandbanks, than on top of the sandbanks.

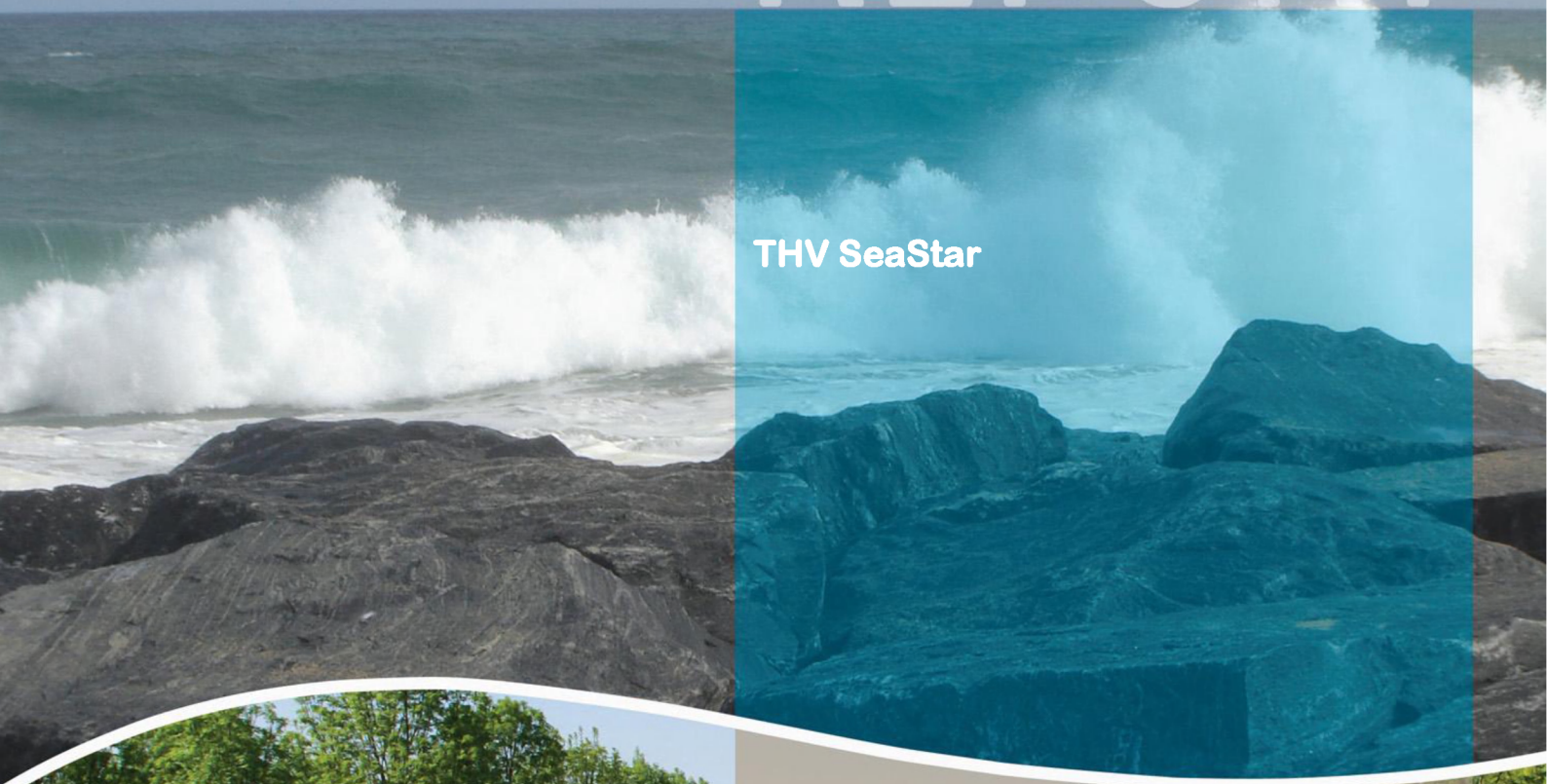
6. REFERENCES

IMDC (2009). Afstemming Vlaamse en Nederlandse voorspelling golfklimaat op ondiep water. Deel 4: Technisch wetenschappelijke bijstand: Traject Onderzoek. I/RA/11273/09.007/SDO. In opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium.

Van Rijn, L.C.(2003). Sand transport by currents and waves; general approximation formulae. Unpublished paper describing TRANSPOR2000 model.

Verfaillie, E., Van Lancker, V. and Van Meirvenne, M. (2006). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. Continental Shelf Research 26, 2454-2468.

REPORT

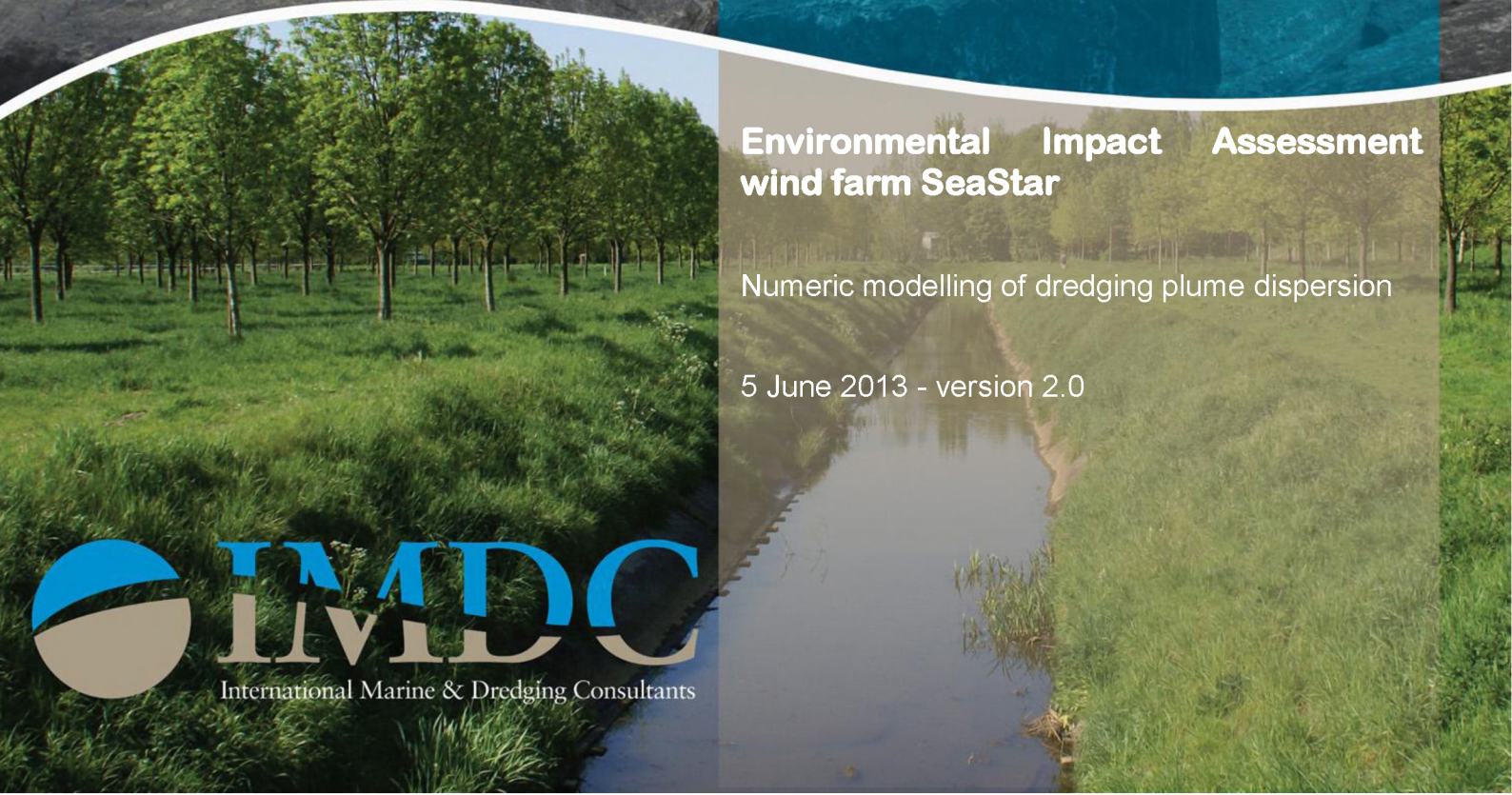


THV SeaStar

Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar

Numeric modelling of dredging plume dispersion

5 June 2013 - version 2.0



IMDC
International Marine & Dredging Consultants

Colophon

International Marine & Dredging Consultants

Address: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identification

Title	Numeric modelling of dredging plume dispersion
Project	Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar
Client	THV SeaStar
Document ref	I/RA/11421/13.114/MIM
Document name	K:\PROJECTS\11\11421 - MER SeaStar\10-Rap\Externe bijlagen\2.IMDC2013b_RA13114_Dredging Plume modelling\RA13114_SedimentPlumeModelling_v2.0.docx

Revision

Version	Date	Description	Author	Checked	Approved
1.0	24/04/13	Draft	LWA	MIM	MSA
2.0	05/06/13	Final report	LWA	MIM	MSA

Distribution List

	Hard copy	
x	Pdf	Marc Huygens (THV SeaStar)

Table of Contents

1. INTRODUCTION 8
1.1 THE ASSIGNMENT 8
1.2 AIM OF THE STUDY 8
1.3 OVERVIEW OF THE STUDY 9
1.4 STRUCTURE OF THE REPORT 9
2. DESCRIPTION OF NUMERICAL MODEL 10
2.1 HYDRODYNAMIC FLOW MODEL 10
2.1.1 Numerical grid and bathymetry 10
2.1.2 Vertical layer distribution 13
2.1.3 Boundary conditions and model validation 13
2.2 SEDIMENT TRANSPORT MODEL 15
2.2.1 Set-up 15
2.2.2 Sediment losses 15
2.2.3 Simulation period 17
3. SIMULATION RESULTS 18
3.1 SCENARIOS 18
3.2 HYDRODYNAMICS 21
3.3 PLUME ANALYSIS 23
3.3.1 Probability of exceedance 23
3.3.2 Worst case 26
3.3.3 Example around slack water 33
4. CONCLUSIONS 36
5. REFERENCES 37
6. APPENDIX — FULL DREDGING AND DUMPING CYCLE 38
6.1 SCENARIO 1 38
6.2 SCENARIO 2 49

List of Tables

TABLE 2-1 LAYER DISTRIBUTION AND AVERAGE WATER DEPTHS AT LOCATION OF DREDGING ACTIVITIES. 13
TABLE 2-2 ESTIMATED SEDIMENT PROPERTIES (MEDIAN SEDIMENT DIAMETERS IN µM) OF FINES AT CONCESSION ZONE. 15
TABLE 2-3 OVERVIEW OF ASSUMPTIONS FOR LOSS OF FINES (TDM= TON DRY MATTER) 16
TABLE 3-1 TIME POINTS OF DREDGING AND DUMPING IN SCENARIO 1 20
TABLE 3-2 TIME POINTS OF DREDGING AND DUMPING IN SCENARIO 2 20

List of Figures

FIGURE 2-1 LAYOUT OF THE MODEL GRIDS 10
FIGURE 2-2 THREE DOMAINS AFTER DOMAIN DECOMPOSITION 11
FIGURE 2-3 BATHYMETRY MAP OF THE FLOW MODEL DOMAIN 12
FIGURE 2-4 3-DIMENSIONAL BATHYMETRY MAP OF THE SEASTAR DOMAIN (INDICATED IN PINK). 12
FIGURE 2-5 VERTICAL GRID IN DELFT3D WITH THE APPLIED SIGMA COORDINATE APPROACH. 13
FIGURE 2-6 LOCATION OF OBSERVATION POINTS 14
FIGURE 2-7 SPRING TIDAL CYCLES SELECTED FOR THE SIMULATION 17
FIGURE 3-1 DREDGING AND DUMPING LOCATIONS 19
FIGURE 3-2 TIME POINTS OF DREDGING AND DUMPING IN SCENARIO 1 20
FIGURE 3-3 TIME POINTS OF DREDGING AND DUMPING IN SCENARIO 2 21
FIGURE 3-4 TIME SERIES SHOWING TIDAL ELEVATION AND VELOCITY MAGNITUDE AT THE DREDGING SITE OF SCENARIO 1 21
FIGURE 3-5 TIME SERIES SHOWING TIDAL ELEVATION AND VELOCITY MAGNITUDE AT THE DREDGING SITE OF SCENARIO 2 22
FIGURE 3-6 MAP OF AVERAGED CURRENT ELLIPSES AT THE SPRING TIDE WITH BATHYMETRY AS BACKGROUND; THE AVERAGED CURRENT ELLIPSES ARE CALCULATED OVER ONE SPRING TIDAL CYCLE; THE GRID RESOLUTION OF ONE ELLIPSE IS ABOUT 600M × 300M. 22
FIGURE 3-7 PROBABILITY OF EXCEEDANCE OF EXCESS SSC OVER 4 MG/L IN SCENARIO 1 24
FIGURE 3-8 PROBABILITY OF EXCEEDANCE OF EXCESS SSC OVER 4 MG/L IN SCENARIO 2 24
FIGURE 3-9 PROBABILITY OF EXCEEDANCE OF EXCESS SSC OVER 10 MG/L IN SCENARIO 1 25
FIGURE 3-10 PROBABILITY OF EXCEEDANCE OF EXCESS SSC OVER 10 MG/L IN SCENARIO 2 25
FIGURE 3-11 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT 10MIN AFTER DUMPING STARTED FOR CYCLE 10, IN SCENARIO 1 DURING EBB 27
FIGURE 3-12 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT DURING DISPERSION OF SEDIMENT PLUME PRODUCED BY DUMPING IN SCENARIO 1 (CYCLE 10) FOR AN EBB EVENT 28
FIGURE 3-13 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT AT DISAPPEARANCE OF 4-MG/L CONTOUR IN SCENARIO 1 FOR AN EBB EVENT 29
FIGURE 3-14 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT 10MIN AFTER DUMPING STARTED FOR CYCLE 11, IN SCENARIO 2 DURING FLOOD 30
FIGURE 3-15 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT DURING DISPERSION OF SEDIMENT PLUMES PRODUCED BY DUMPING IN SCENARIO 2 (CYCLE 11) FOR A FLOOD EVENT 31
FIGURE 3-16 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT AT DISAPPEARANCE OF 4-MG/L CONTOUR IN SCENARIO 2 FOR A FLOOD EVENT 32
FIGURE 3-17 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT 10MIN AFTER DUMPING STARTED FOR CYCLE 14, IN SCENARIO 1 DURING SLACK 33
FIGURE 3-18 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT DURING DISPERSION OF SEDIMENT PLUME PRODUCED BY DUMPING IN SCENARIO 1 FOR A SLACK WATER EVENT 34
FIGURE 3-19 EXCESS SSC, WATER LEVEL AND TIDAL CURRENT AT DISAPPEARANCE OF 4-MG/L CONTOUR IN SCENARIO 1 FOR A SLACK WATER EVENT 35
FIGURE 6-1 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 10MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 38

FIGURE 6-2 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 30MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 39

FIGURE 6-3 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 50MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1. FIRST OBSERVATION OF PLUME DUE TO DREDGING OF CYCLE 13, 30 MIN AFTER START (02:50) 40

FIGURE 6-4 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H10 AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 41

FIGURE 6-5 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H30 AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 42

FIGURE 6-6 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H50 AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 43

FIGURE 6-7 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 2H10 AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1 44

FIGURE 6-8 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 2H30 AFTER DUMPING IN CYCLE 12 (02:30) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1. DUMP OF CYCLE 13 (05:00) IS NOT VISIBLE YET 45

FIGURE 6-9 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 20MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 13 (05:00) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1. START DREDGING OF CYCLE 14 (05:20), PLUME NOT VISIBLE YET 46

FIGURE 6-10 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 30MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 13 (05:00) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1. START DREDGING OF CYCLE 14 (05:20), PLUME NOT VISIBLE YET 47

FIGURE 6-11 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 50MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 13 (05:00) DURING A FLOOD EVENT IN SCENARIO 1. START DREDGING OF CYCLE 14 (05:20), PLUME STARTS TO VISUALISE AFTER 30MIN (MOST SOUTHERN PLUME) 48

FIGURE 6-12 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 30MIN AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2, THE SMALL DREDGING PLUME STARTS TO BE VISIBLE AT NE BOUNDARY. PLUME IN CENTRE IS FROM DUMPING DURING PREVIOUS CYCLE 49

FIGURE 6-13 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 50MIN AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 50

FIGURE 6-14 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H10 AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 51

FIGURE 6-15 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H30 AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 52

FIGURE 6-16 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H50 AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 53

FIGURE 6-17 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 2H10 AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 54

FIGURE 6-18 EVOLUTION OF SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 2H35 AFTER DREDGING IN CYCLE 9 (20:50) AND 10MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 9 (23:15) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2. THE DREDGE PLUME HAS REACHED THE DUMP AREA 55

FIGURE 6-19 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 30MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 9 (23:15) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2 56

FIGURE 6-20 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 50MIN AFTER DUMPING IN CYCLE 9 (23:15) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2. DREDGE PLUME OF CYCLE 10 (23:50) IS NOT VISIBLE YET 57

FIGURE 6-21 EVOLUTION OF A SEDIMENT PLUME FOR A FULL DREDGING-DUMPING CYCLE 1H5 AFTER DUMPING IN CYCLE 9 (23:15) DURING AN EBB EVENT IN SCENARIO 2. DREDGE PLUME OF CYCLE 10 (23:50) STARTS TO VISUALISE AFTER 30MIN 58

1. INTRODUCTION

1.1 THE ASSIGNMENT

According to the Belgian legislation a concession is required for the construction and exploitation of a wind farm park. A necessary part to obtain a concession permit is the writing of an Environmental Impact Assessment (EIA) of the foreseen activities. This task was assigned by THV SeaStar to International Marine and Dredging Consultants NV on 7 September 2012.

The description of the initial reference situation and the possible natural evolution of the subsurface is an important element of the EIA. In order to assess the autonomic evolution of the seafloor a numerical model had to be set-up that simulates the tidal currents, wave action and sediment transport in the concession area. This additional study was granted to IMDC NV on 7 February 2013. A detailed scope of work of this particular study was set up in close collaboration with the MUMM (Dries Van den Eynde) in order to fulfil the specific requirements of the EIA.

In addition, the dredging and disposal methods for the construction of the windmill park will likely cause turbidity and sediment dispersion. In order to assess this impact of the dredging activities on the background turbidity and suspended sediment levels, a dredging plume model study was proposed by IMDC. This additional study was granted to IMDC NV on 7 February 2013. A numerical model will be applied that simulates the tidal currents and sediment transport in the concession area.

1.2 AIM OF THE STUDY

In the framework of the EIA for the planned wind farm SeaStar, the impact of the dredging and dumping activities on the turbidity and suspended sediment levels in the concession zone are investigated with a numerical model. The aim of this study is to obtain information about the size and influence of a possible sediment plume in the area. This information will be used when assessing the environmental impact of a wind farm on the soil and water column.

The study will focus on the excess sediment dispersion caused by the dredging and dumping activities related to e.g. sea bed preparations, local levelling or creation of the foundation pits... Basically, this study will compare the excess turbidity (associated with the dredging works) with the natural background turbidity. Only fine sediments (< 90 µm) will be taken into account, coarser sediments are assumed to settle down quickly in the vicinity of the source.

In order to analyse and determine the turbidity and suspended solid levels caused by the dredging activities, a 3D hydrodynamic and 3D sediment transport numerical model, using Delft3D software of Deltares (v. 4.0), will be applied. Two scenarios, representing different locations for the dredging and dumping activities, will be investigated.

1.3 OVERVIEW OF THE STUDY

The report at hand 'Numerical modelling of dredging plume dispersion' (I/RA/11421/13.114/MIM) is part of the EIA 'Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar' (I/RA/11421/12.201/MIM).

Also reference is made to the report 'Numerical modelling of sediment transport' (I/RA/11421/13.113/MIM where the same sediment transport model is used to analyse the initial morphological reference situation and the possible natural evolution of the subsurface

Both reports are put integrally as attachment at the back of the EIA, the main results are presented in chapter 5.1 'Soil and Water' of the EIA.

1.4 STRUCTURE OF THE REPORT

Chapter 2: Description of the numerical FLOW and sediment transport model.

Chapter 3: Simulation results, including description of scenarios and plume analysis.

Chapter 4: Conclusions.

2. DESCRIPTION OF NUMERICAL MODEL

The setup of the numerical model is also described in the report 'Numerical modelling of sediment transport' (I/RA/11421/13.113/MIM). The most important characteristics are outlined below, for more detail reference is made to the report (I/RA/11421/13.113/MIM). This numerical model has been converted to a 3D model in order to take the vertical processes related to the dredging and dumping activities into account.

2.1 HYDRODYNAMIC FLOW MODEL

2.1.1 Numerical grid and bathymetry

The model is called "SSR model" and it is nested into a larger mother model called "KaZNO model" (Figure 2-1). The computational grid size of the KaZNO model is 2600 m × 7.000 m to 100 m × 140 m, and that of SSR model is 1800 m × 2700 m to 20 m × 30 m.

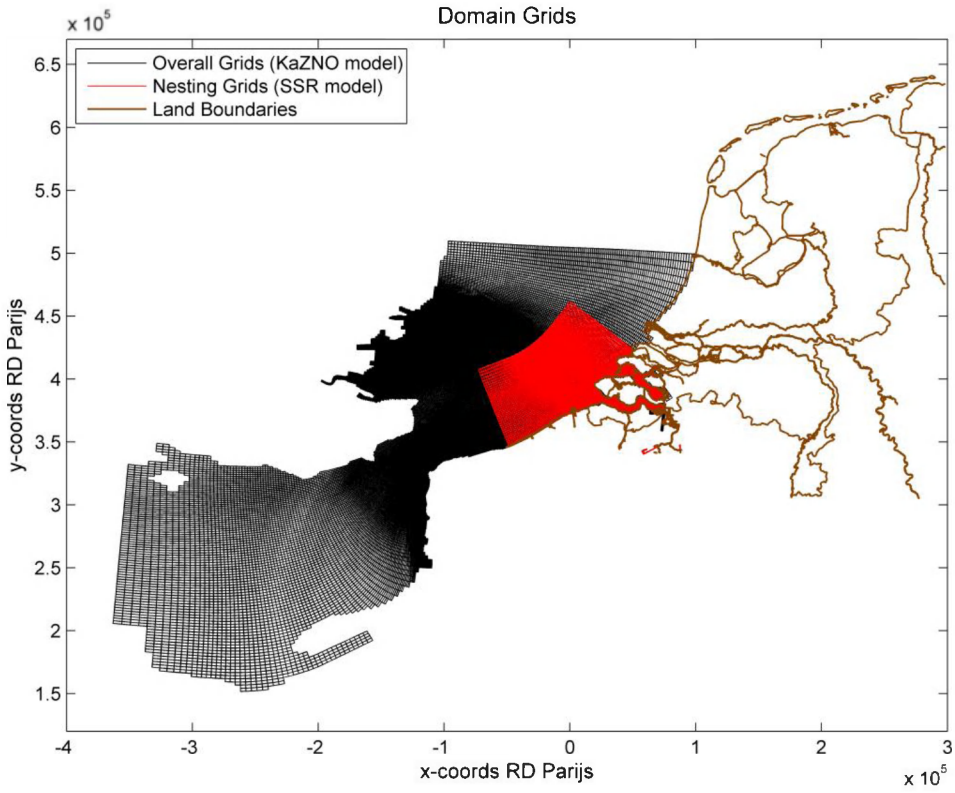


Figure 2-1 Layout of the model grids

In order to obtain more detailed information in the concession zone which is called "SeaStar Zone", a domain decomposition technique is employed to specifically refine this zone indicated by the magenta lines in Figure 2-2. In addition, domain decomposition is applied to the upstream river domain but without any refinement, in order to reduce the computational time

for the whole model domain. In the SeaStar domain, the grid size reaches 235 m × 340 m to 110 m × 180 m.

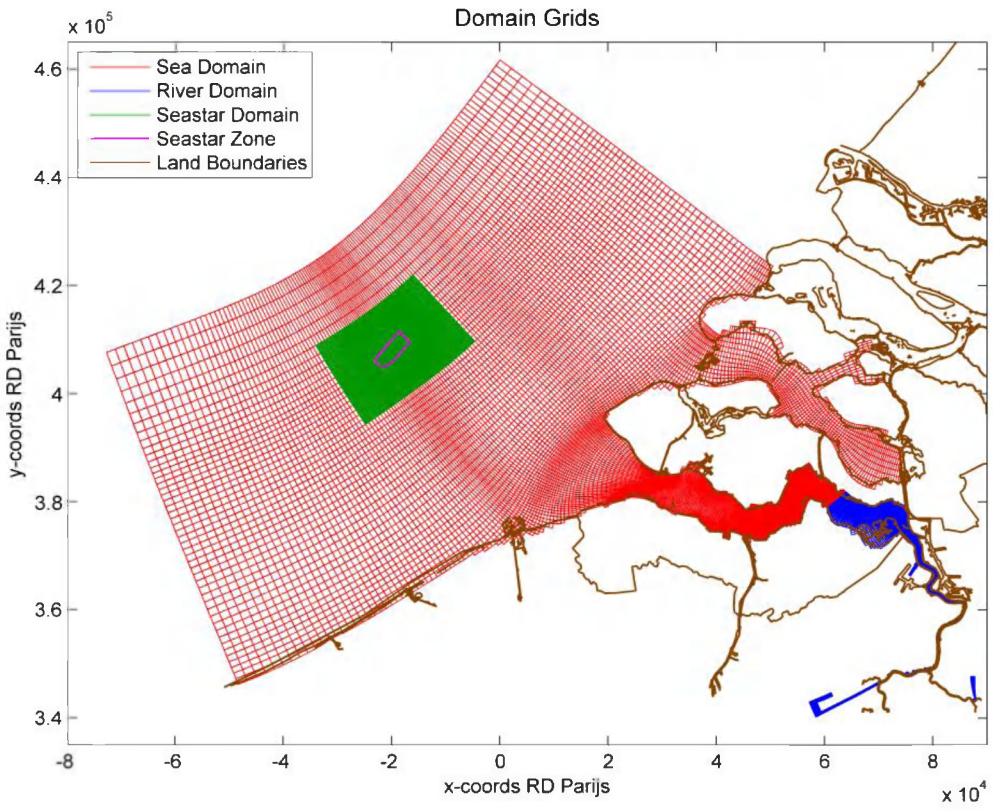


Figure 2-2 Three domains after domain decomposition

The general bathymetry map (Figure 2-3) shows that the SeaStar Zone is situated at a depth of around -33 m NAP, and that it is surrounded by several large sandbanks higher than -30 m NAP (e.g. Lodewijkbank, Blighbank) (NAP = TAW + 2.333 m). This is more obvious from the three-dimensional bathymetry map (Figure 2-4).

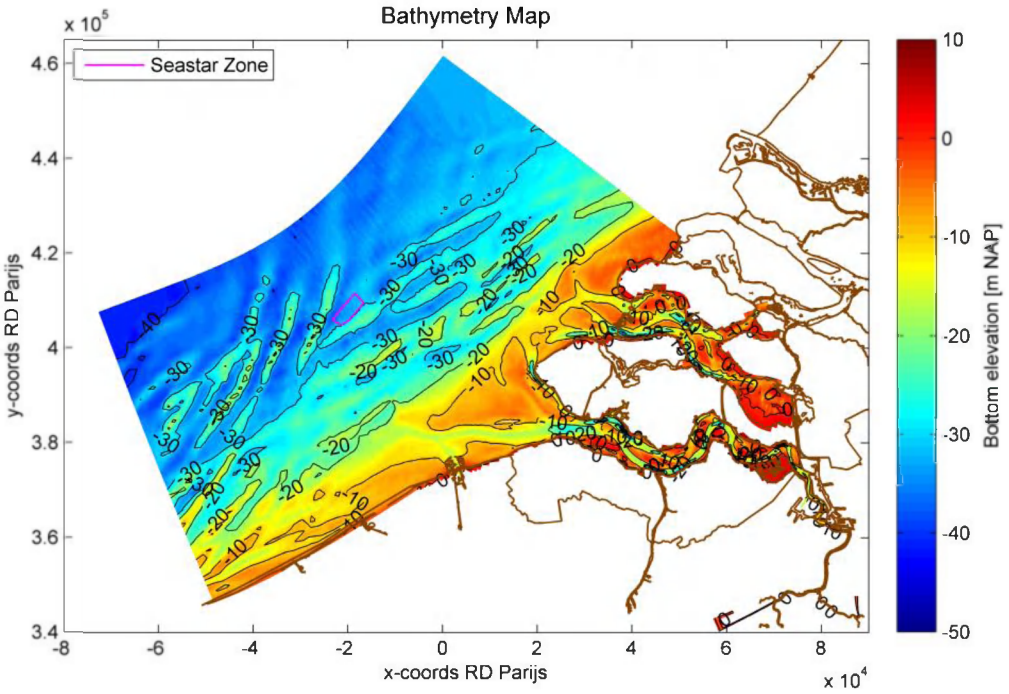


Figure 2-3 Bathymetry map of the flow model domain

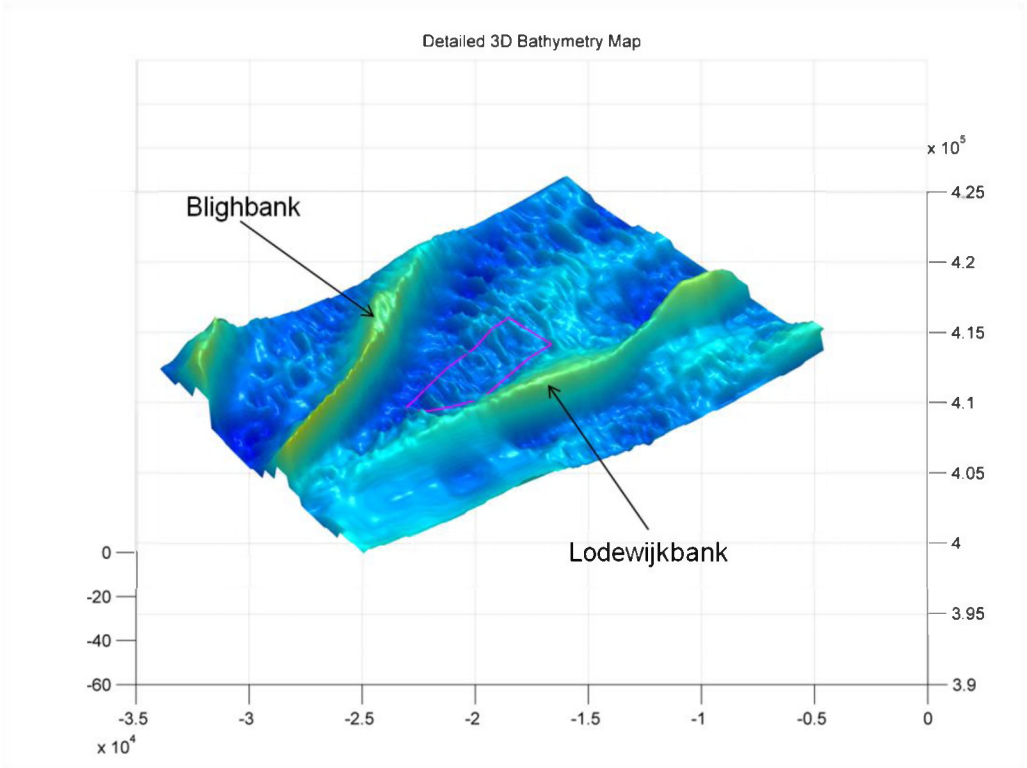


Figure 2-4 3-dimensional bathymetry map of the SeaStar domain (indicated in pink).

2.1.2 Vertical layer distribution

The SeaStar Domain and Sea Domain are calculated in 3D. The vertical grid is defined following the sigma coordinate approach (Figure 2-5) which allows the online calculation of sediment transport. Each layer is defined in percentages of water depth. Table 2-1 shows the applied layer distribution.

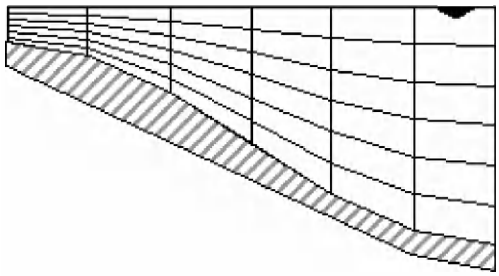


Figure 2-5 Vertical grid in Delft3D with the applied sigma coordinate approach.

Table 2-1 Layer distribution and average water depths at location of dredging activities.

Layer	% of Water depth	Corresponding height of layers (total depth of 30m)
1 (Top)	27.50	21.75-30.00m
2	20.50	15.60-21.75m
3	15.50	10.95-15.60m
4	11.50	7.50-10.95m
5	8.50	4.95-7.50m
6	6.25	3.08-4.95m
7	4.50	1.73-3.08m
8	3.25	0.75-1.73m
9 (Bottom)	2.50	0.00-0.75m

2.1.3 Boundary conditions and model validation

The SSR model is supplied by tidal boundary conditions from the KaZNO model, no wave conditions are imposed on the model. In order to get a mean tidal forcing in this domain, one

year of data of tidal ranges at three stations were statistically analysed and then a representative spring-neap tidal period was selected representing the mean tidal forcing of a whole year in the domain, i.e 23-Jul-2009 14:00:00 to 07-Aug-2009 01:40:00. For more details about the choice of the representative cycle is referred to the sediment transport modelling report (I/RA/11421/13.113 /MIM).

The model validation period is from 12 April 2010 to 19 April 2010. Three measuring points were used for the model validation (Figure 2-6). For more details and figures is referred to the sediment transport modelling report (I/RA/11421/13.113/MIM). The model gives a maximum overestimation of around 10% in terms of the tidal range for location Westhinder.

The model gives a satisfactory result compared to the observed data for location Scheur Wielingen. The variation pattern of tidal current magnitude is captured by the model successfully, and the direction of current velocity is reproduced by the model quite well.

At an observation point at the Lodewijkbank, the modelling result is slightly overestimated compared to the observed data. However, the variation characteristics of the tidal current are effectively reproduced by the model. The magnitude of the current velocity is overestimated approximately 25% by the model, and the bias and RMSE is 0.079 and 0.16 m/s respectively.

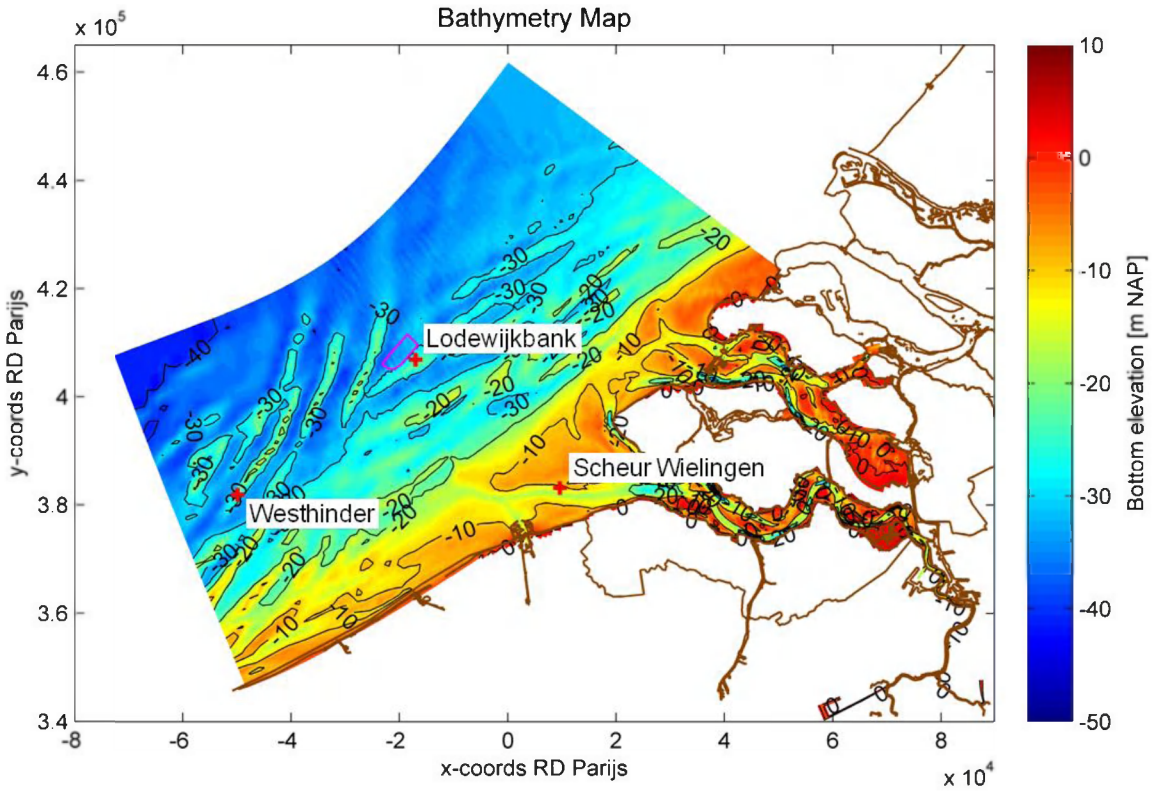


Figure 2-6 Location of observation points

2.2 SEDIMENT TRANSPORT MODEL

2.2.1 Set-up

In this model only the excess sediments, i.e. the sediments derived from the dredging activities (overflow, draghead losses, dumping), are considered in order to analyse the dispersion of dredged material and to determine the effect on the turbidity of the area. The only source of sediments is therefore the discharge of dredge material.

The natural background turbidity will be taken into account in the analysis of the model results, using it as a baseline value to which the excess suspended sediment concentration (SSC) will be compared. The background turbidity (SPM) at Blighbank can be applied for the concession zone and is about 4 mg/l (Van den Eynde et al., 2010).

For the sediment transport, the Van Rijn TRANSPOR2004 approach is employed in the model (Van Rijn et al., 2004). Based on the sediment characteristics of a channel between sandbanks (swale) in the Hinderbanken area at a comparable distance offshore and at the same depth as the Rentel area, which moreover shows a similar grainsize at the seafloor (Verfaillie et al., 2006), the dredged material is assumed to have 3% fines (< 90 µm) (Depret-G-tec, 2009). These fine sediments are divided over four equal fractions as used in the Van Rijn approach specified in Table 2-2.

Table 2-2 Estimated sediment properties (median sediment diameters in µm) of fines at concession zone.

Fraction	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)	Percentage
Sediment 01	5	10	20	0.75%
Sediment 02	20	30	40	0.75%
Sediment 03	40	50	60	0.75%
Sediment 04	60	75	90	0.75%
Total percentage of fines	-	-	-	3.00%

2.2.2 Sediment losses

According to the applied dredging method, equipment and activity, different fluxes of fine sediment will be discharged at different depths in the water column.

At this stage of the SeaStar project, dredging specifics during the offshore installation and construction of the offshore wind farm are not yet known in detail. However, as an illustrative example for the associated environmental impact, the creation of a foundation pit for a gravity based foundation is selected. Since no further details on the applied dredging technique are defined yet for this particular project, general feasible dredging equipment which was used in comparable situations is chosen. The dimensions of the foundation pit are: a floor surface of

50 x 80 m, slopes of 1/5 and 1/8 (steepest slope at the shortest side) and a depth of 7.5 m. This results in a volume of 90,000 m³ that has to be dredged.

It is assumed that a TSHD of 10,000 m³ will fill the hopper in about 2h (120 minutes), including manoeuvring. Taking into account a bulking factor of 1.2 and a maximum in-hopper volume of 8,000 m³ (80% filling), an in-situ volume of 6667 m³ can be dredged from the seafloor each time. So it takes 14 cycles to dredge one foundation pit of 90,000 m³. It is assumed that the in situ dry density is 1.595 tDM/m³ and the in situ saturated density 2 t/m³. So per load 10,635 tDM is dredged of which 3% are fines (319 tDM dredged fines). Sailing speed is about 1 knot during dredging and about 8 knots sailing between dredging and dumping site.

Three potential sources of sediment losses are defined:

- Draghead losses at the head of the TSHD are estimated at 0.77% or ca. 1% of the total amount of available fines, based on a study that collected results for more than 43 dredging projects (Anchor Environmental CA L.P., 2003).
- Overflow losses from the TSHD are estimated to be 67% of the total dredged fines. Remaining fines are assumed to be deposited in the hopper or trapped in layers of coarser material during loading before overflow (IMDC, 2009, 2010a, 2010b , 2011). Of this 67% in the water column, it is assumed that 1/4 stays in suspension as part of a passive plume and 3/4 settles at the bottom and will be dredged during the following cycle (worst-case scenario). Overflow discharge is at 8 m below the water surface after 20 minutes dredging (i.e. 100 minutes overflow).
- During dumping fine sediments will be lost, they go into suspension and form a passive plume. It has been observed on the Thorntonbank, that after dredging and dumping 30% of the initial dredged material was lost (Van den Eynde et al., 2010). Based on these data, a loss of 30% of the remaining fines (dredged minus overflow) is assumed, distributed in a logarithmic profile over the vertical (IMDC, 2007, 2009, 2010a, 2010b). Dumping takes about 10 minutes.

The different calculated fluxes, losses and assumptions are summarised in Table 2-3.

Table 2-3 Overview of assumptions for loss of fines (tDM= ton dry matter)

Source	Estimated loss of available fines	Flux (kg/s)	Duration (min)	Total flux (tDM)	Theoretical distribution of sediments in water column
Draghead	1%	0.3	120	2.5	Uniformly distributed in lower 2 m above sea bed
Overflow	(67% in overflow of which 1/4 in suspension)	8.9	100	53	In layer at 8 m below surface
Dumping	30%	132.9	10	80	10% in top 75% of water column, 40% in intermediate 20% of water column and 50% in lower 5% of water column

2.2.3 Simulation period

The simulations are run during spring tide of the representative period in order to capture the strongest currents (24/07/2009 14u50 – 26/07/2009 16u30, the red line in Figure 2-7). The period includes the completion of one foundation pit in 14 dredging and dumping cycles, i.e. in about 1.5 days. An initial condition file is used to start up the model.

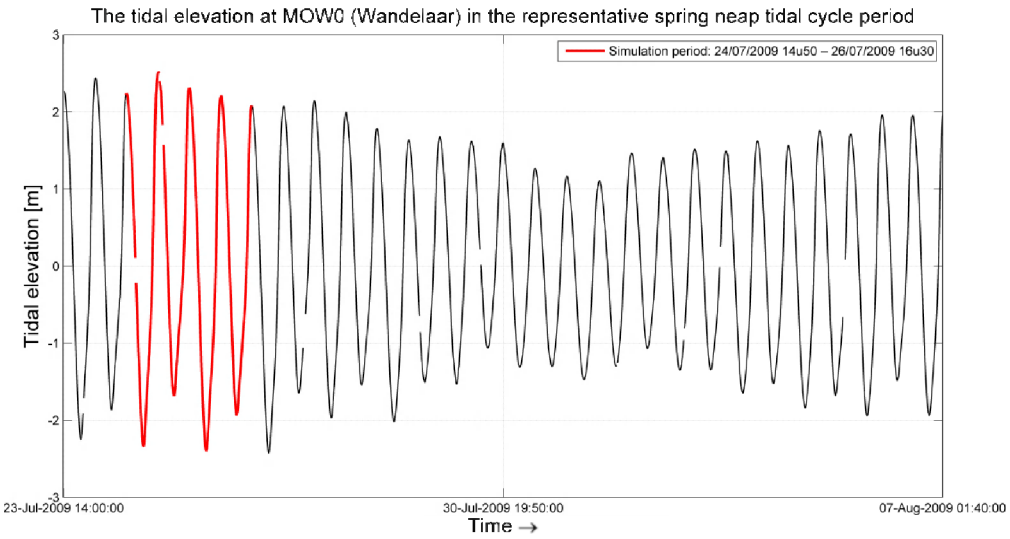


Figure 2-7 Spring tidal cycles selected for the simulation

3. SIMULATION RESULTS

3.1 SCENARIOS

The dredging activities consist of dredging a foundation pit, dumping the material in a temporary disposal location, dredge this material for backfill of the foundation pit and infill of a gravity based foundation. Only the first two activities will be analysed as they will cause the highest turbidity.

Two scenarios have been derived which represent different locations for dredge and dump activities, both scenarios are calculated for spring tide:

- **Scenario 1**: A foundation pit is dredged near the SW boundary of the concession zone on top of a sand dune. A dump site is located nearby (at circa 700 m) in a through between sand dunes, aligned to the dredge location and upward of the main tidal currents (Figure 3-1). 14 cycles of dredging and dumping were simulated. Each cycle consists of 2h dredging, 10 minutes transit to dump site, 10 minutes dumping, 10 minutes transfer back to dredge site, in total 35h. The time point of the start of each dredging and dump activity is listed in Table 3-1, and visualised on the tidal elevation curve in Figure 3-2.
- **Scenario 2**: A foundation pit is dredged at the NE boundary of the concession zone, close by the Dutch border. The dump site is located in the centre of the project area, about 3.5 km upwards of the dredging area and the dominant current direction (Figure 3-1). This dump location can serve as a storage site for material of multiple foundation pits. 14 cycles of dredging and dumping were simulated as well for this scenario. Time between dredging and dumping in scenario 2 is larger as the sailing time to and from the dumpsite has increased. Each cycle consists of 2h dredging, 25 minutes transit to dump site, 10 minutes dumping, 25 minutes transfer back to dredge site, in total 42h. Same information as Scenario 1 with regard to the time points of dredging and dumping activity can be found in Table 3-2 and Figure 3-3.

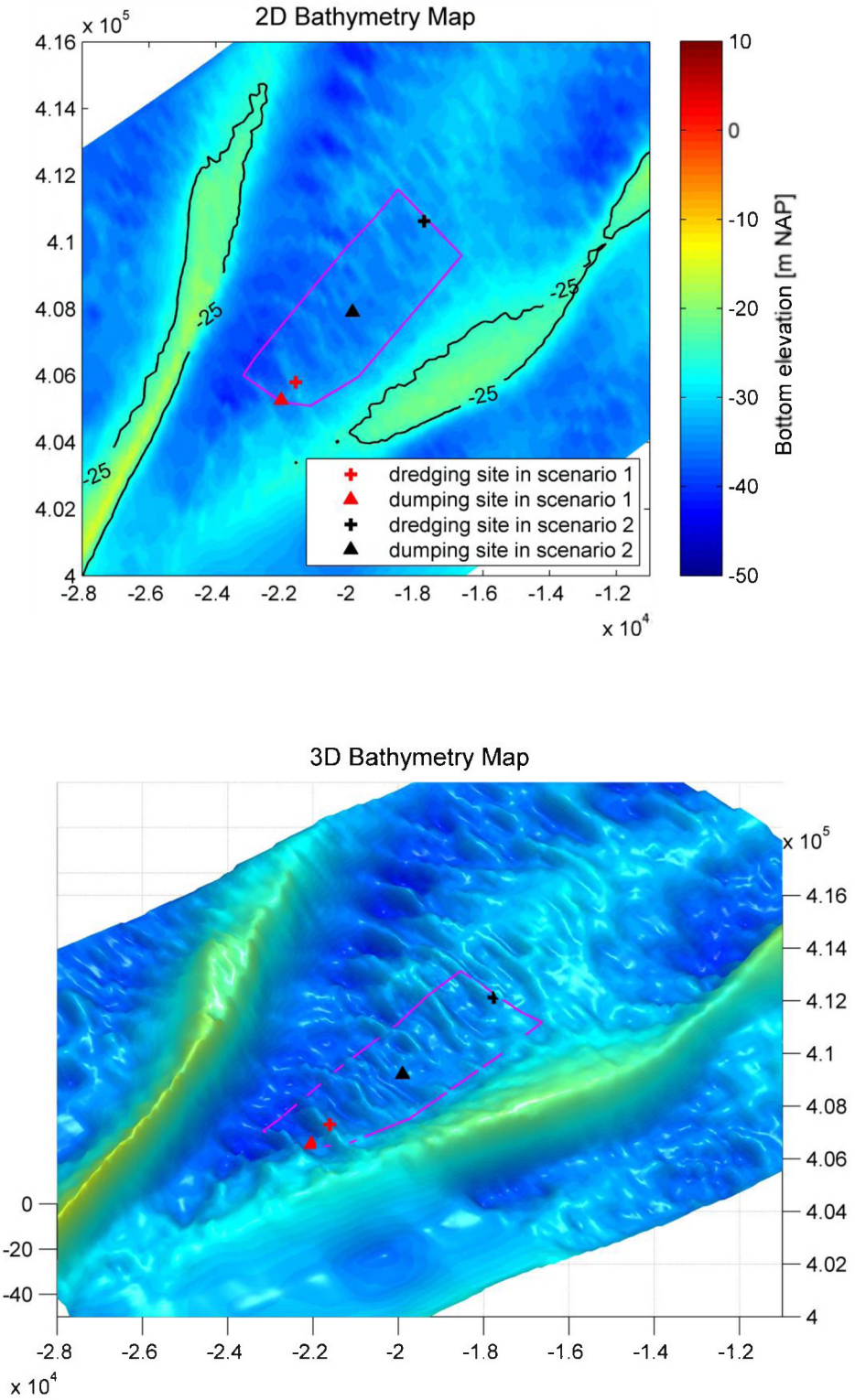


Figure 3-1 Dredging and dumping locations

Table 3-1 Time points of dredging and dumping in Scenario 1

cycle	Start of Dredging	Start of Dumping
1	24/07/2009 20:50	24/07/2009 23:00
2	24/07/2009 23:20	25/07/2009 01:30
3	25/07/2009 01:50	25/07/2009 04:00
4	25/07/2009 04:20	25/07/2009 06:30
5	25/07/2009 06:50	25/07/2009 09:00
6	25/07/2009 09:20	25/07/2009 11:30
7	25/07/2009 11:50	25/07/2009 14:00
8	25/07/2009 14:20	25/07/2009 16:30
9	25/07/2009 16:50	25/07/2009 19:00
10	25/07/2009 19:20	25/07/2009 21:30
11	25/07/2009 21:50	26/07/2009 00:00
12	26/07/2009 00:20	26/07/2009 02:30
13	26/07/2009 02:50	26/07/2009 05:00
14	26/07/2009 05:20	26/07/2009 07:30

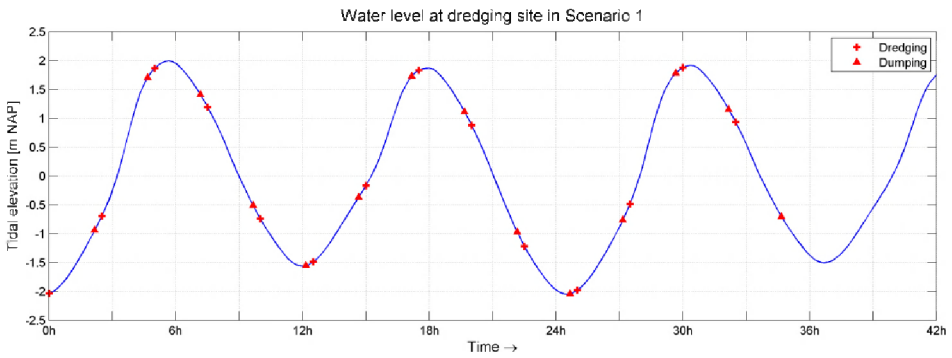


Figure 3-2 Time points of dredging and dumping in Scenario 1

Table 3-2 Time points of dredging and dumping in Scenario 2

cycle	Start of Dredging	Start of Dumping
1	24/07/2009 20:50	24/07/2009 23:15
2	24/07/2009 23:50	25/07/2009 02:15
3	25/07/2009 02:50	25/07/2009 05:15
4	25/07/2009 05:50	25/07/2009 08:15
5	25/07/2009 08:50	25/07/2009 11:15
6	25/07/2009 11:50	25/07/2009 14:15
7	25/07/2009 14:50	25/07/2009 17:15
8	25/07/2009 17:50	25/07/2009 20:15
9	25/07/2009 20:50	25/07/2009 23:15
10	25/07/2009 23:50	26/07/2009 02:15
11	26/07/2009 02:50	26/07/2009 05:15
12	26/07/2009 05:50	26/07/2009 08:15
13	26/07/2009 08:50	26/07/2009 11:15
14	26/07/2009 11:50	26/07/2009 14:15

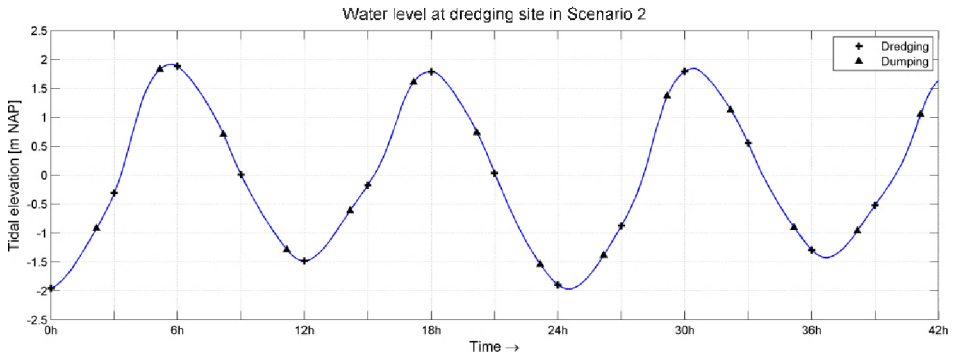


Figure 3-3 Time points of dredging and dumping in Scenario 2

3.2 HYDRODYNAMICS

The modelled tidal current velocity and elevation at the dredging sites in the SeaStar Zone (cf. Figure 3-1) are presented in Figure 3-4 and Figure 3-5. The time series are displayed for the selected spring tide during which the dredging and dumping take place. The currents are driven by tidal forcing only without any meteorological forcing.

The dredging site located near the west boundary of the SeaStar Zone in Scenario 1 shows slightly stronger currents than the dredging site located near the east boundary of the SeaStar Zone in Scenario 2, which can probably be attributed to the constriction of flow at the smaller cross section between Blighbank and Lodewijkbank in Scenario 1. The current velocity at the two dredging sites does not exceed over 1.1 m/s for the spring tide.

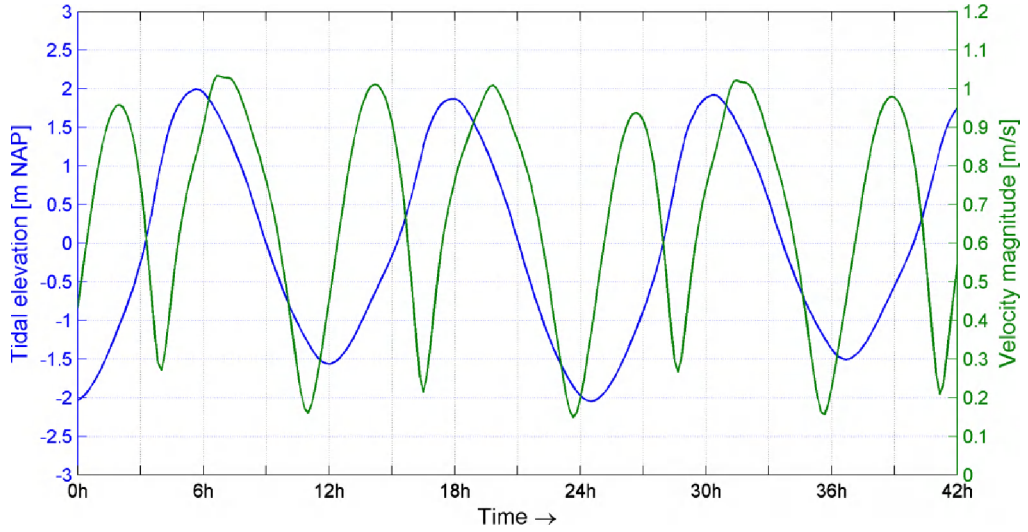


Figure 3-4 Time series showing tidal elevation and velocity magnitude at the dredging site of Scenario 1

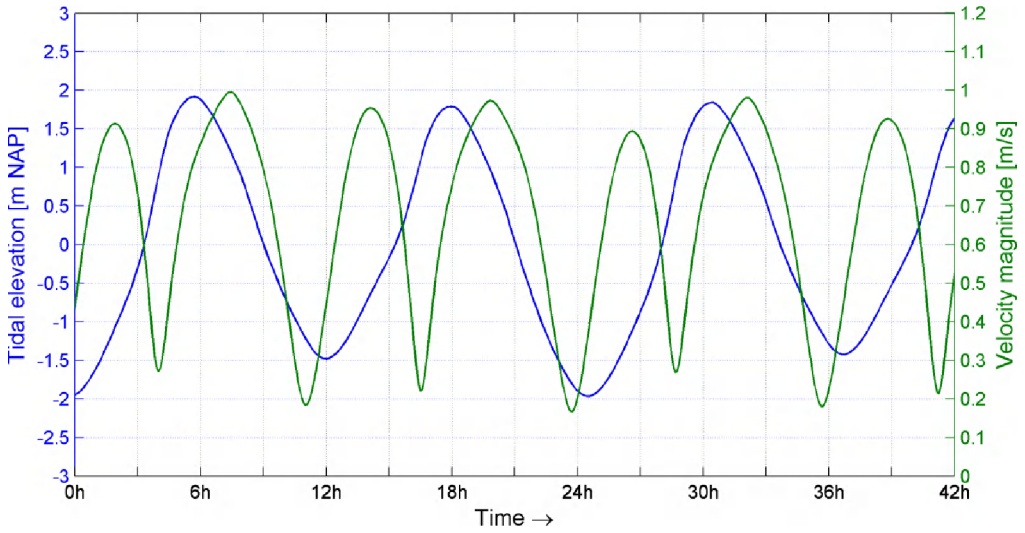


Figure 3-5 Time series showing tidal elevation and velocity magnitude at the dredging site of Scenario 2

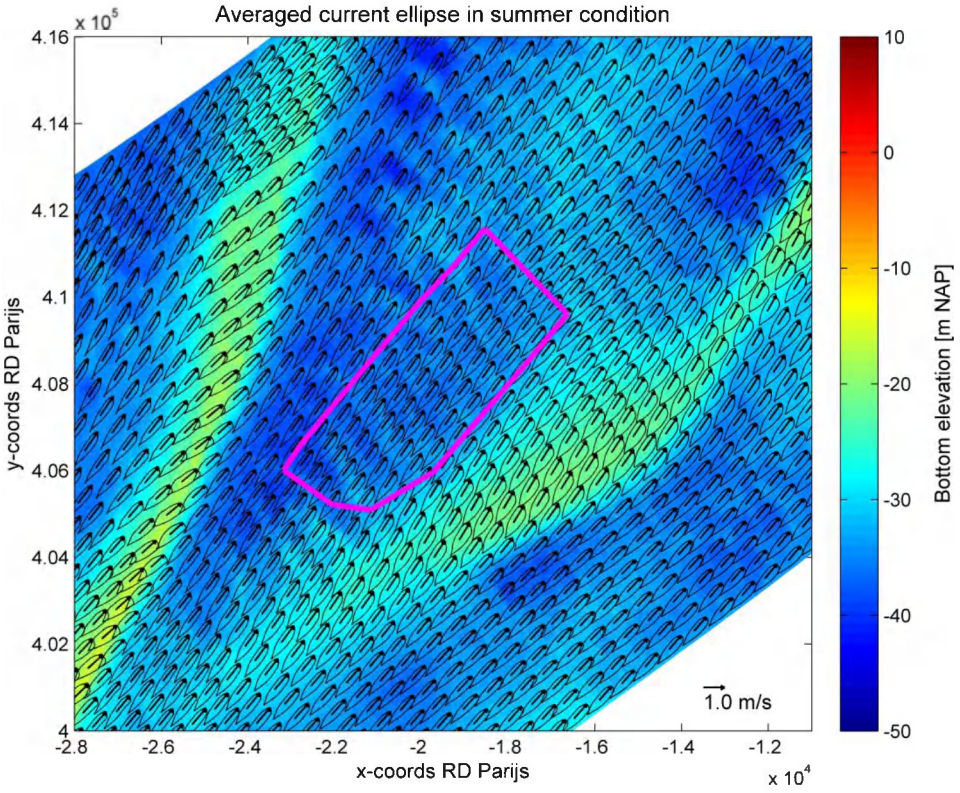


Figure 3-6 Map of averaged current ellipses at the spring tide with bathymetry as background; the averaged current ellipses are calculated over one spring tidal cycle; the grid resolution of one ellipse is about 600m × 300m.

Figure 3-6 displays the tidal current ellipses in and around the SeaStar Zone. Currents in the SeaStar Zone (deeper part in between two sand banks) show a large eccentricity with smaller velocity at the minor axis during the flow reversal, while those at the top of the banks (more shallower water) are more rotary with larger velocities at the minor axis during the flow reversal, in particular at the Lodewijkbank. The tidal currents are NE-SW aligned.

3.3 PLUME ANALYSIS

In this section, the plume analysis is described. Firstly, probability maps of exceedance over 4 and 10 mg/l are presented for Scenario 1 and 2 respectively. As a value of 4 mg/l is the background suspended particulate matter (SPM) concentration monitored on the Blighbank, a sandbank adjacent to the SeaStar project area (Van den Eynde et al., 2010), this turbidity is used as reference level. The boundary of 10 mg/l is the upper limit of clear water (Fettweis, pers. comm., May 2012). These probability maps show the percentage of time, during the entire dredging and dumping operation of one foundation pit (14 cycles = 35h-42h), where a certain depth-averaged excess (above background) suspended sediment concentration (SSC) (4mg/l or 10mg/l) is exceeded.

Secondly, the evolution of the sediment plume is shown by maps presenting the modelled depth averaged excess (above background) sediment concentrations, and an indication of the 4 mg/l contour. For each scenario a worst case is described:

- an ebb event in Scenario 1 (dredging and dumping at SW boundary) which leads to the most SW-ward extent of the plume outside the SeaStar area.
- and a flood event in Scenario 2 (dredging and dumping at the NE boundary) which leads to the most NE-ward extent of the plume outside the SeaStar area towards the Dutch border.

One example of a slack water event (transition from flood to ebb current) from Scenario 1 is additionally given. Finally, in the appendix, a full dredging-dumping cycle of each scenario can be found respectively for a flood event in Scenario 1 and an ebb event in Scenario 2.

3.3.1 Probability of exceedance

The contour of the exceedance map over 4 mg/l shows that the plume is aligned around the centre of the dredging and dumping location in the direction of the main tidal currents. Outside the dredging and dumping areas, the time of exceedance above the background value of 4 mg/l, drops fast and stays below 10% of the total time in Scenario 1 (3.5h) and below 5% of the total time in scenario 2 (2.1h) where dredging and dumping activities occur at larger distances from each other (Figure 3-7 and Figure 3-8). Outside the concession zone the time of exceedance becomes smaller than 5% in the case of scenario 1 (1.75h) and even invisible in scenario 2 where almost all the effect of the plume remains in the concession zone. Probability of exceedance over 10 mg/l is limited to the dumping areas in the two scenarios (Figure 3-9 and Figure 3-10). For scenario 1 the turbidity exceeds the clear water limit outside the SeaStar concession zone for less than 2% of the total time (40min), inside, the limit is exceeded in a very small area for about 4% of the total time (ca. 1.4h). In scenario 2, the clear water limit is not exceeded outside the SeaStar area, inside the area it is exceeded for about 3% of the time (1.26h).

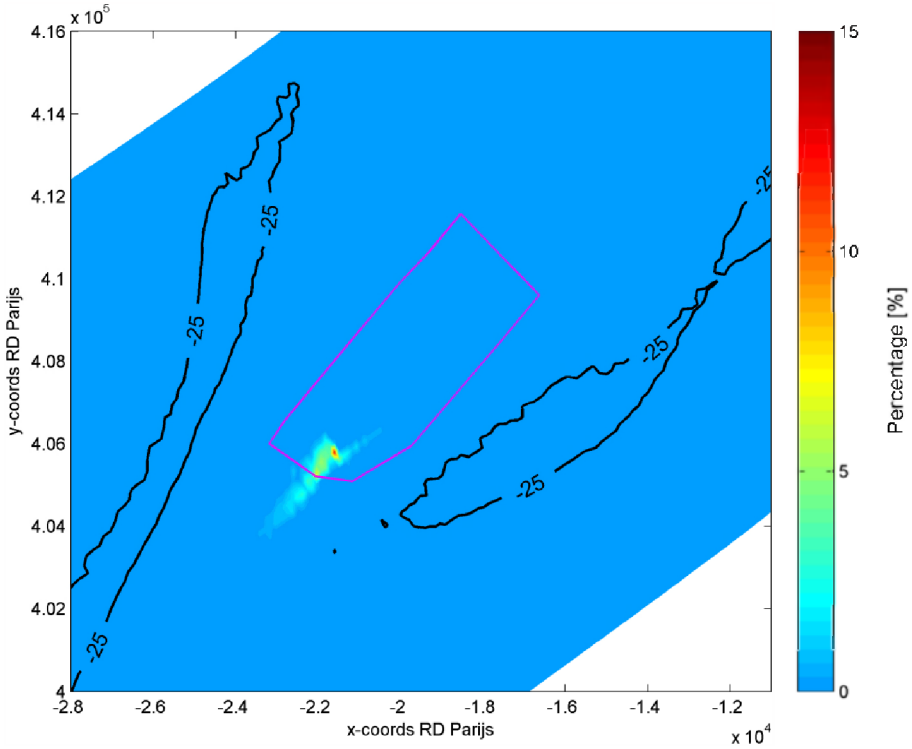


Figure 3-7 Probability of exceedance of excess SSC over 4 mg/l in Scenario 1

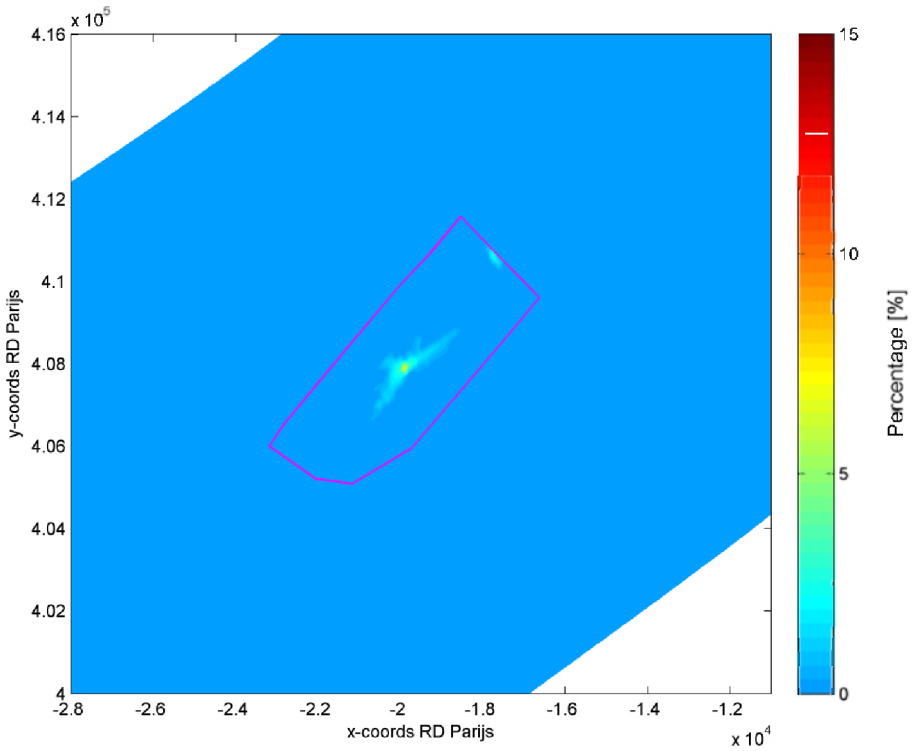


Figure 3-8 Probability of exceedance of excess SSC over 4 mg/l in Scenario 2

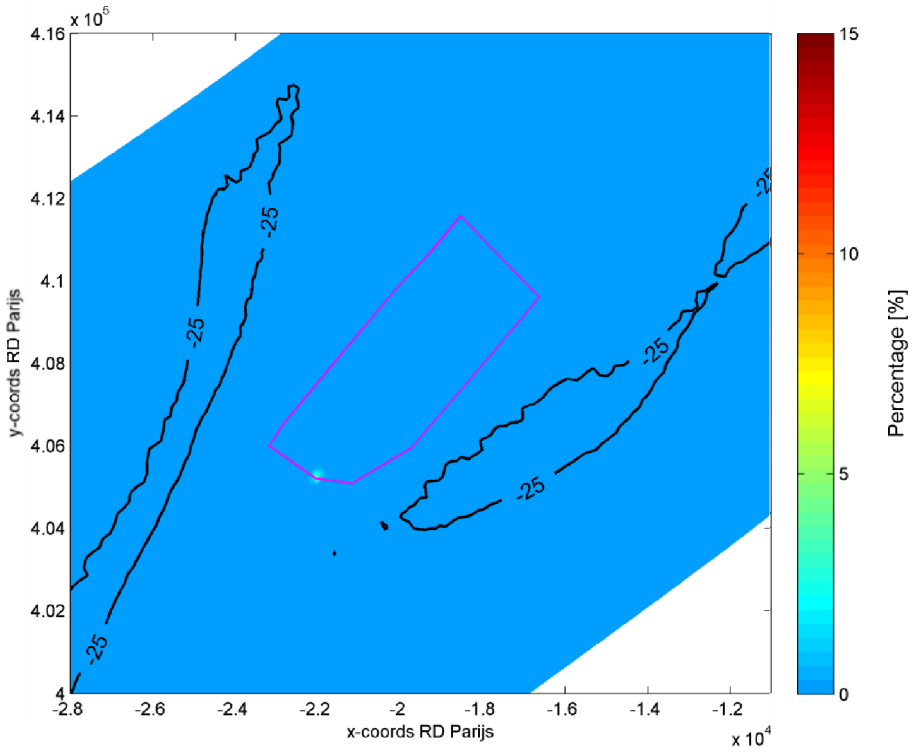


Figure 3-9 Probability of exceedance of excess SSC over 10 mg/l in Scenario 1

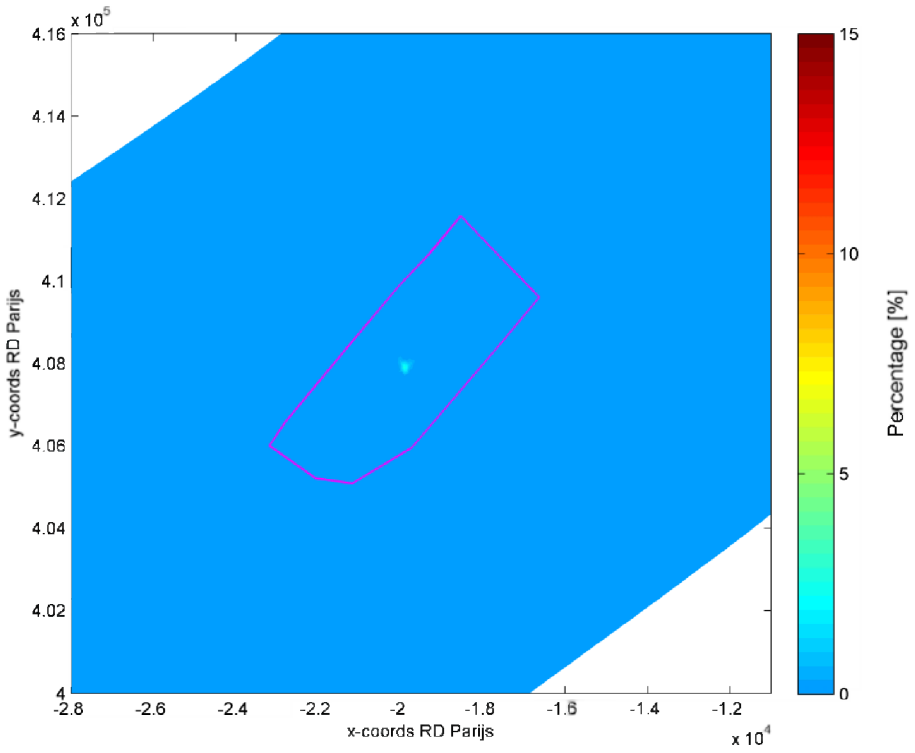


Figure 3-10 Probability of exceedance of excess SSC over 10 mg/l in Scenario 2

3.3.2 Worst case

The worst case for Scenario 1 (dredging and dumping at the SW boundary), takes place at a strong ebb current, i.e. the farthest extent outside the SeaStar area. Whereas for Scenario 2 the farthest plume extent takes place during a strong flood current. Figure 3-11 to Figure 3-13 and Figure 3-14 to Figure 3-16 display the occurrence of the first 4 mg/l-contour line and the dispersion of sediment plume until vanishing of the 4 mg/l-contour line during the dredging-dumping activity respectively in Scenario 1 and 2. Contour lines of 4 mg/l are shown in red in the figures. The black contour lines delineate the Blighbank and Lodewijkbank in this region. In the lower panels of the figures, a red point marks the water level and tidal current at the dredging site. The same figure description accounts for all subsequent figures (Figure 3-17 to Figure 3-19, Figure 6-1 to Figure 6-21).

3.3.2.1 Scenario 1

Figure 3-11 shows the situation 10min after dumping in cycle 10. The SSC exceeds the background level of 4 mg/l. In Figure 3-12 the 4-mg/l contour is still visible and the dump plume drifts to the SW. Figure 3-13 shows how the dump plume of cycle 10 has reached levels below background concentration and the dredging plume of cycle 11 has been produced.

The SSC in the sediment plume caused by the dumping is shown to drop below 4 mg/l in a period of 60 minutes, during which the sediment plume travelled a distance of around 2,400 m to the southwest during the strong ebb current (Figure 3-11 to Figure 3-13). The size of the contour reaches maximally about 700 m. In Figure 3-13 the sediment plume due to the dredging activities in the concession zone (overflow) can be seen, but SSC remains very low (< 2 mg/l).

3.3.2.2 Scenario 2

Figure 3-14 shows the situation 10min after dumping in cycle 11 for Scenario 2. The SSC exceeds the background level of 4 mg/l. In Figure 3-15 the 4-mg/l contour is still visible and the dump plume drifts to the NE. Figure 3-16 shows how the dump plume of cycle 11 has reached levels below background concentration.

In Scenario 2, the sediment plume caused by the dumping has moved approximately 1,500 m to the northeast by the strong flood current in a period of 20 minutes, during which the size of 4-mg/l contour was limited to 500 m and the SSC already gradually fell below 4 mg/l before the sediment plume leaves the SeaStar area (Figure 3-14 to Figure 3-16).

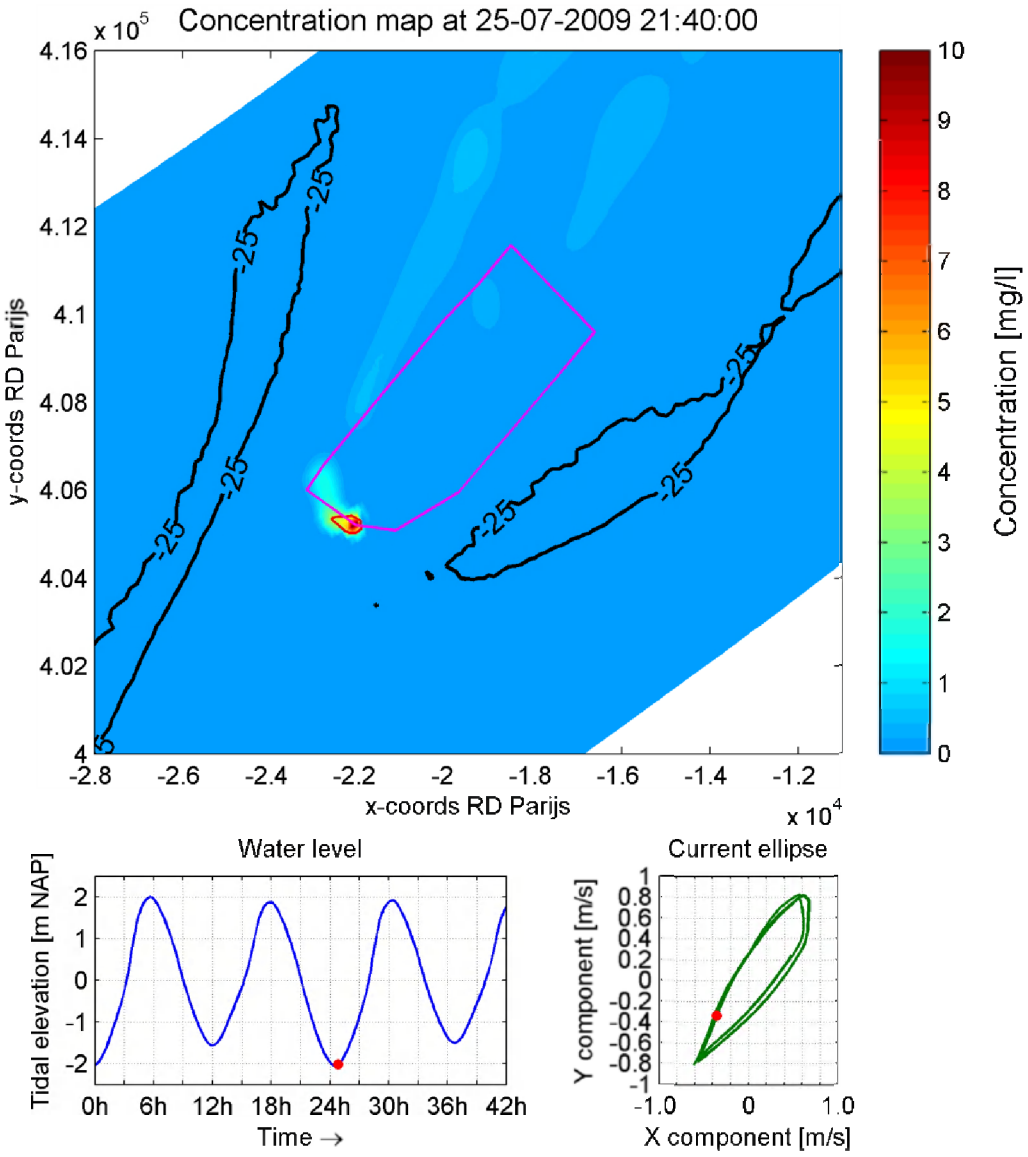


Figure 3-11 Excess SSC, water level and tidal current 10min after dumping started for cycle 10, in Scenario 1 during ebb

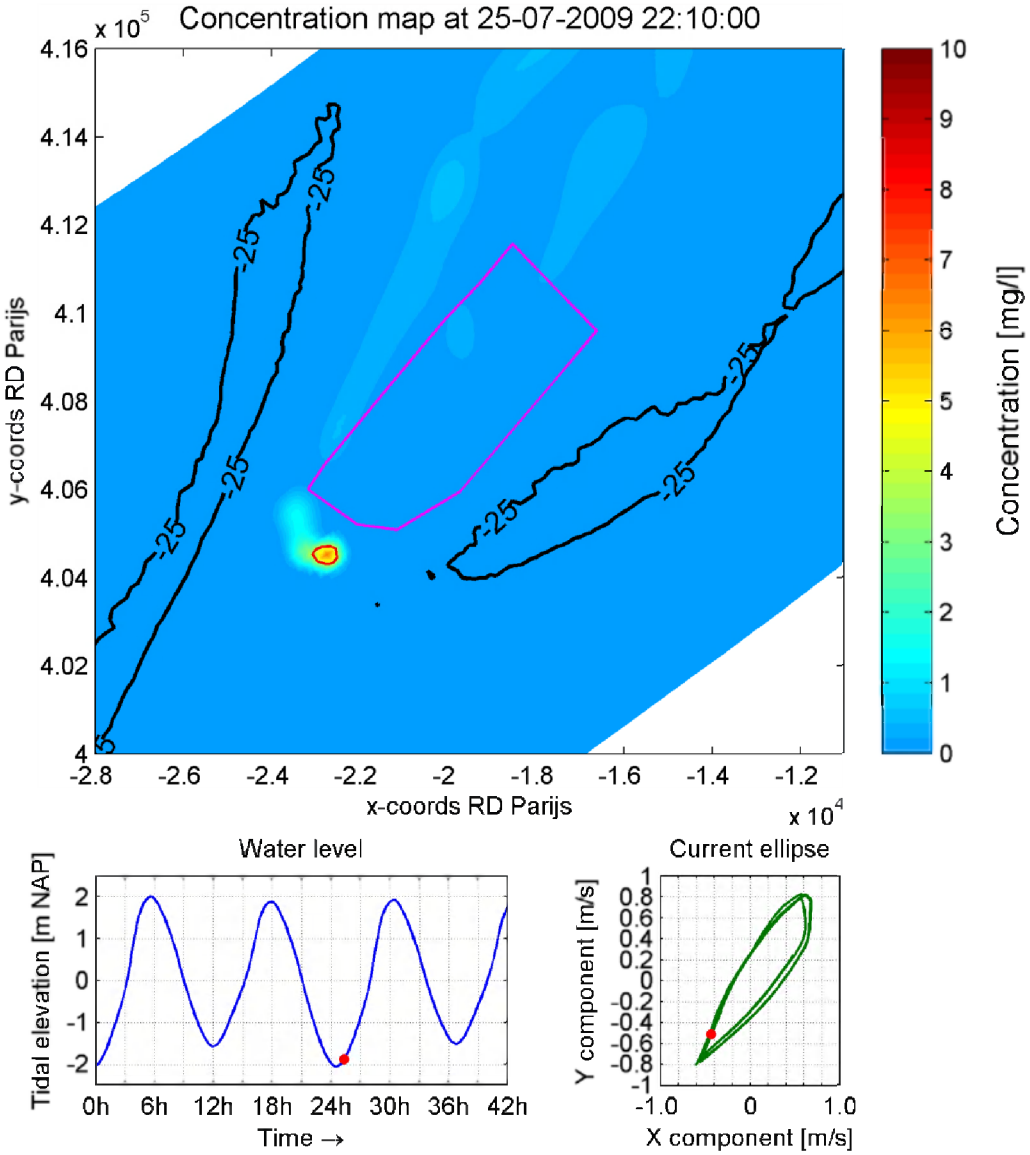


Figure 3-12 Excess SSC, water level and tidal current during dispersion of sediment plume produced by dumping in Scenario 1 (cycle 10) for an ebb event

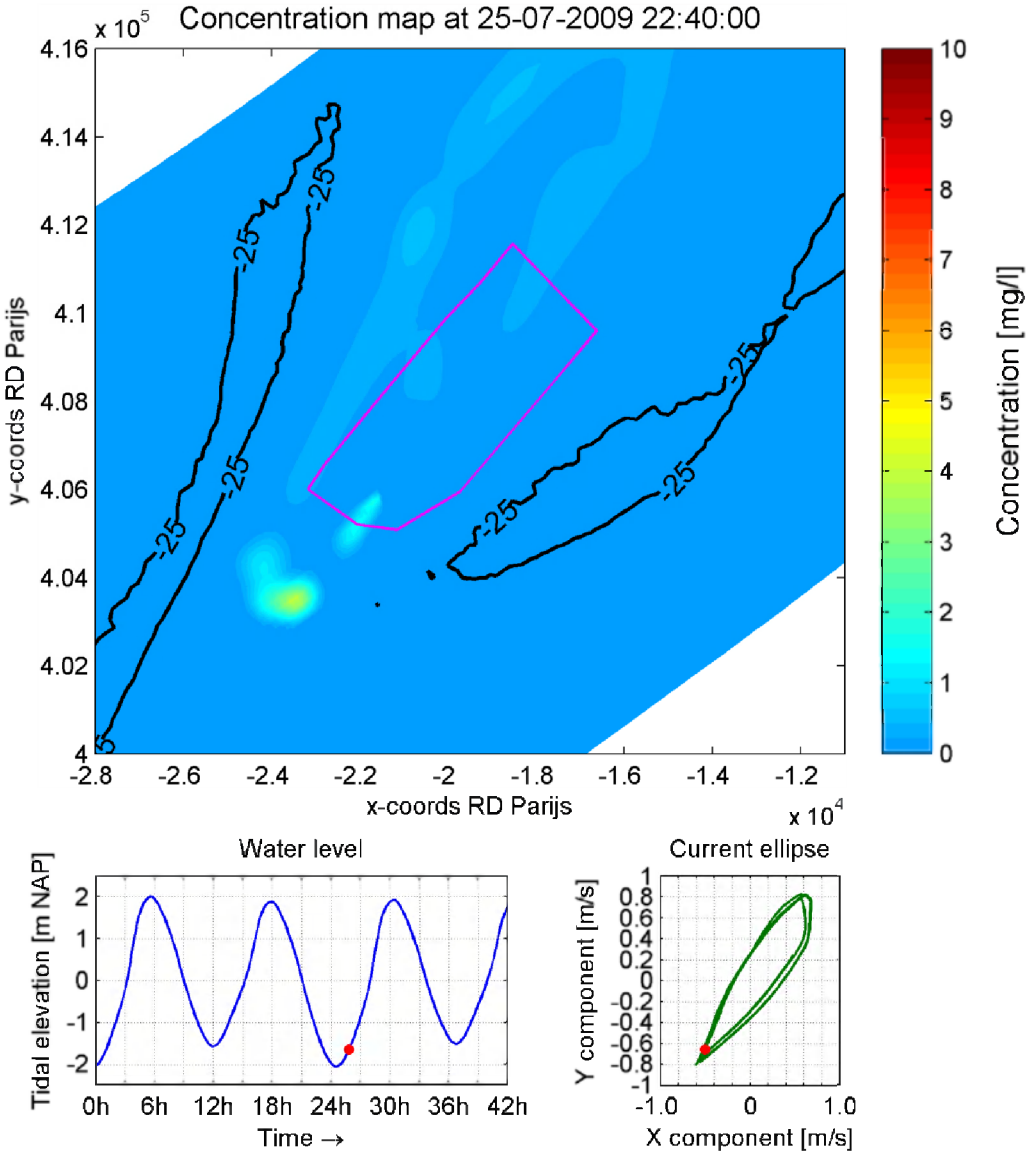


Figure 3-13 Excess SSC, water level and tidal current at disappearance of 4-mg/l contour in Scenario 1 for an ebb event

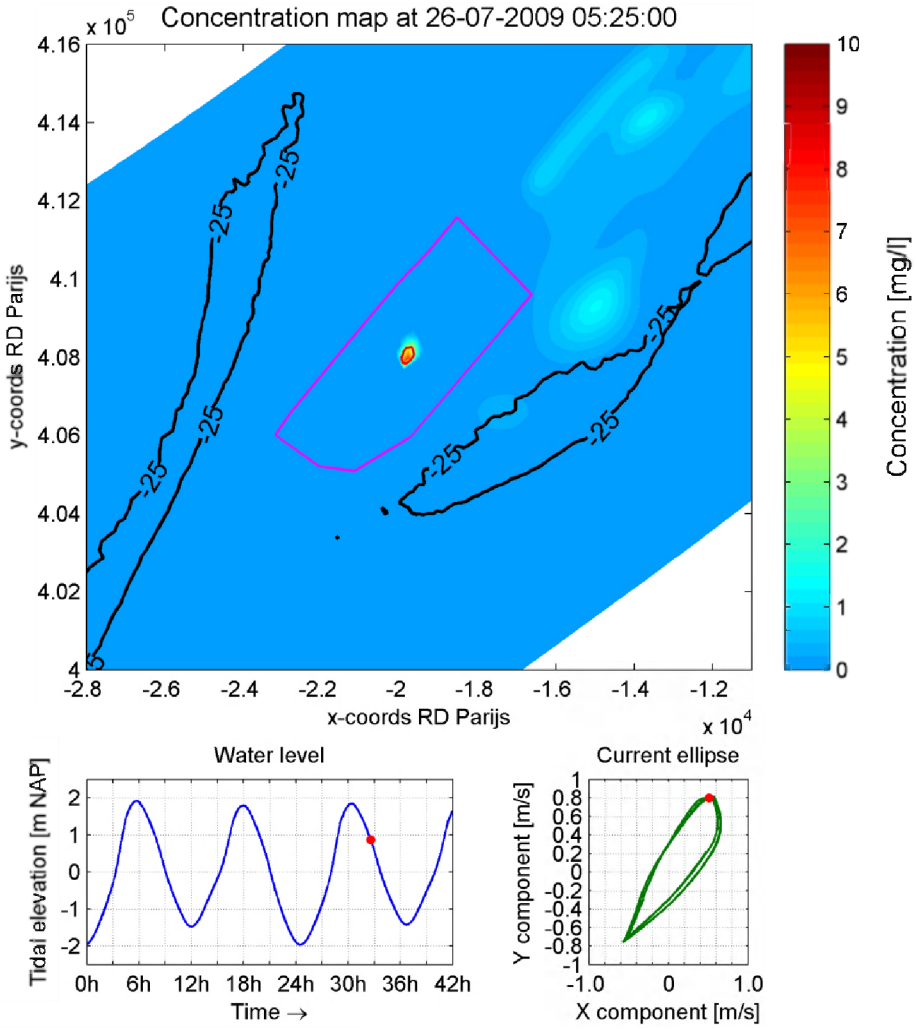


Figure 3-14 Excess SSC, water level and tidal current 10min after dumping started for cycle 11, in Scenario 2 during flood

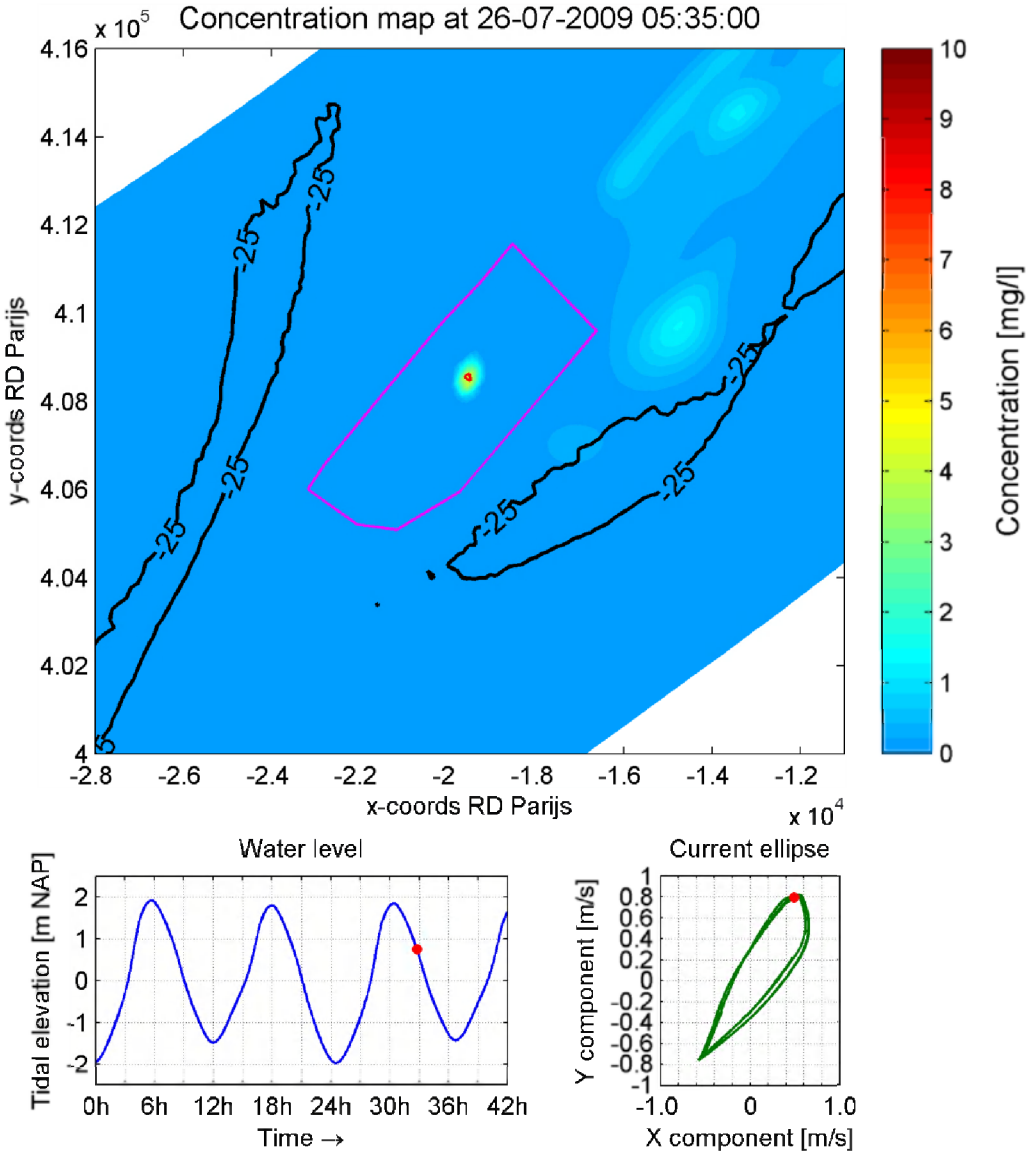


Figure 3-15 Excess SSC, water level and tidal current during dispersion of sediment plumes produced by dumping in Scenario 2 (cycle 11) for a flood event

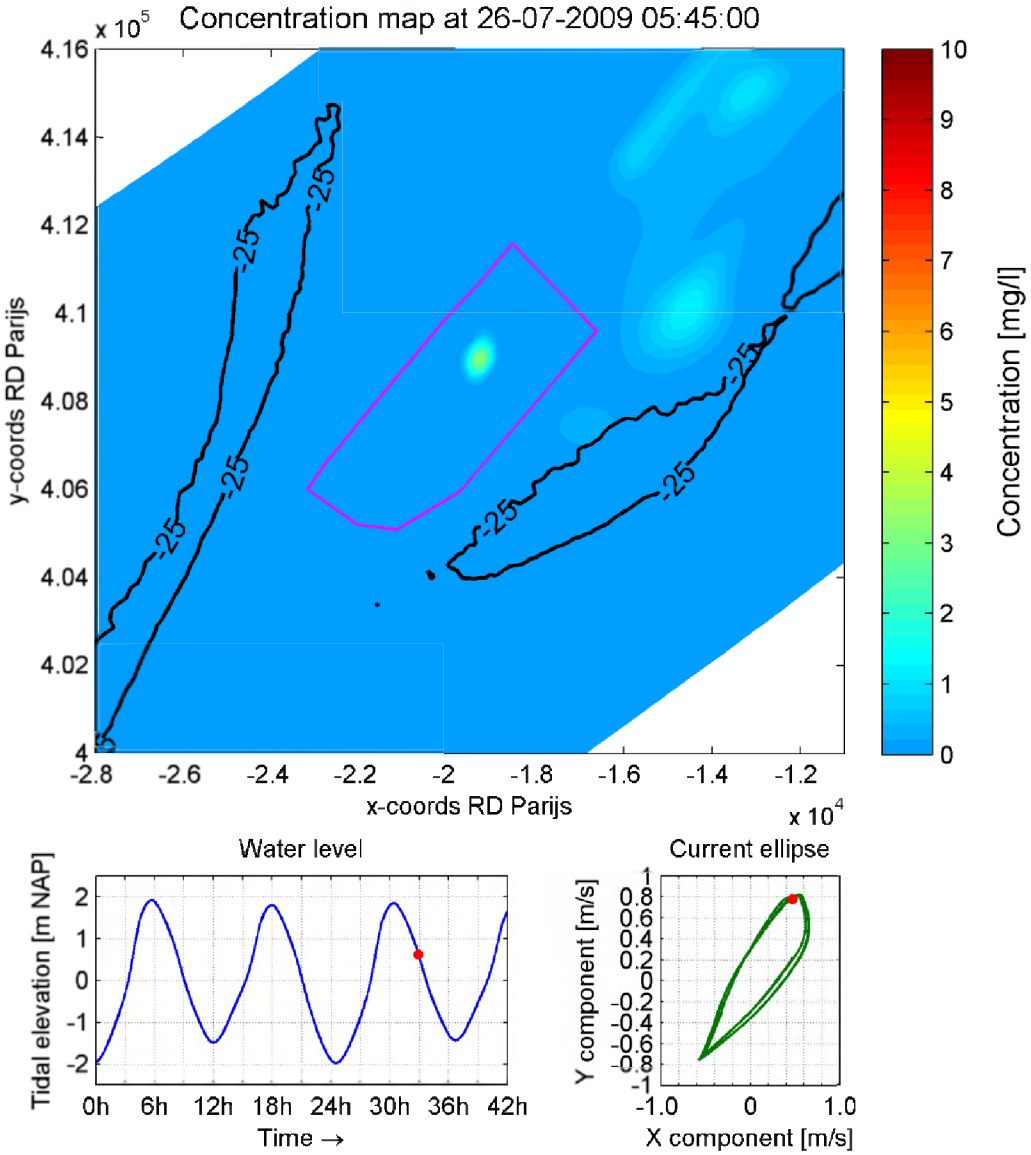


Figure 3-16 Excess SSC, water level and tidal current at disappearance of 4-mg/l contour in Scenario 2 for a flood event

3.3.3 Example around slack water

The example shows the evolution of the sediment plume when dumping takes place around slack water in Scenario 1. Figure 3-17 shows the situation 10min after dumping in final cycle 14. The SSC exceeds the background level of 4 mg/l. Figure 3-18 and Figure 3-19 show how the dump plume of cycle 14 drifts to the north. Figure 3-19 shows how the dump plume of cycle 14 has reached levels below background concentration.

The sediment plume moved ca. 650 m in 40 minutes during which the 4 mg/l-contour line dies out.

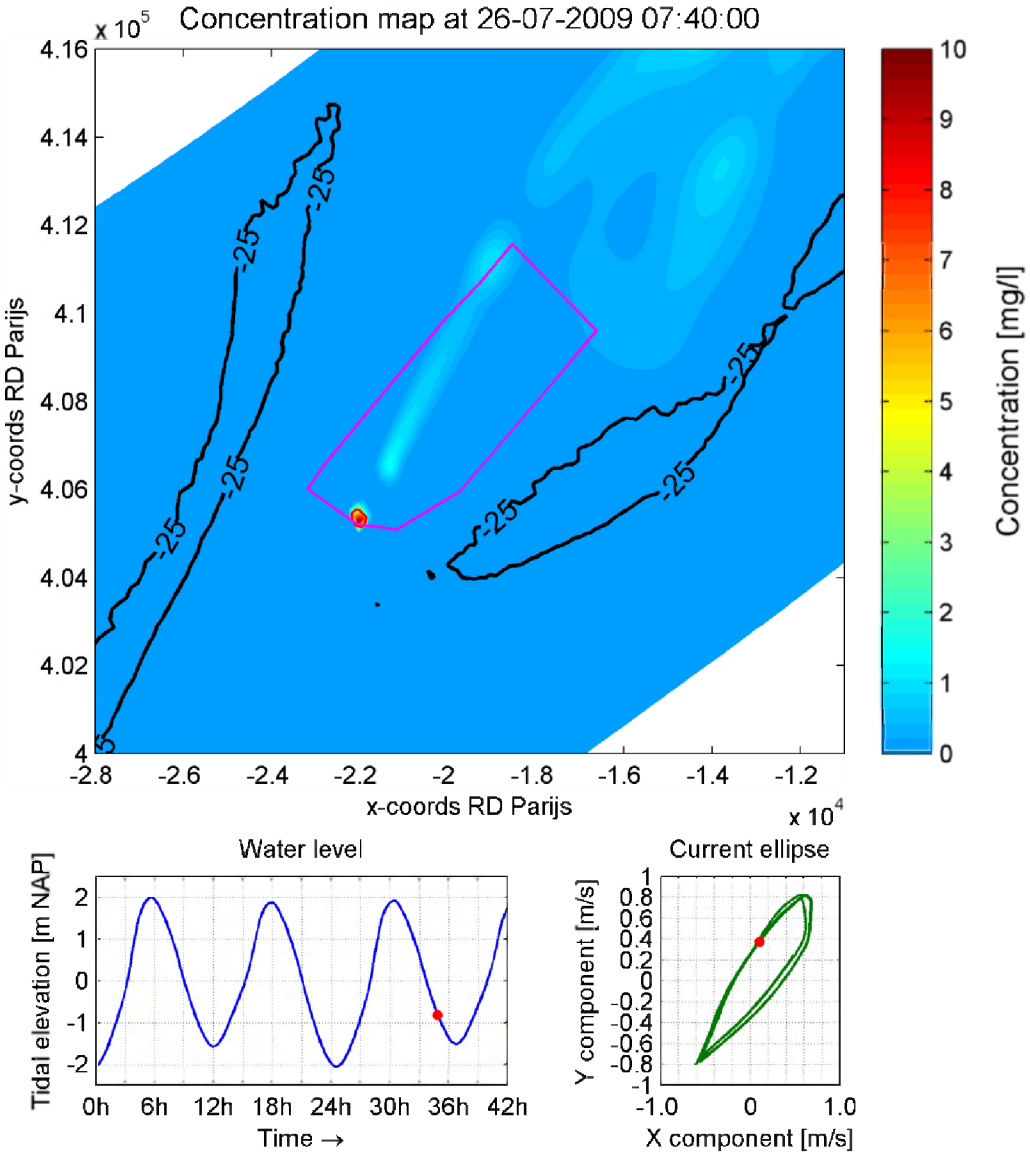


Figure 3-17 Excess SSC, water level and tidal current 10min after dumping started for cycle 14, in Scenario 1 during slack

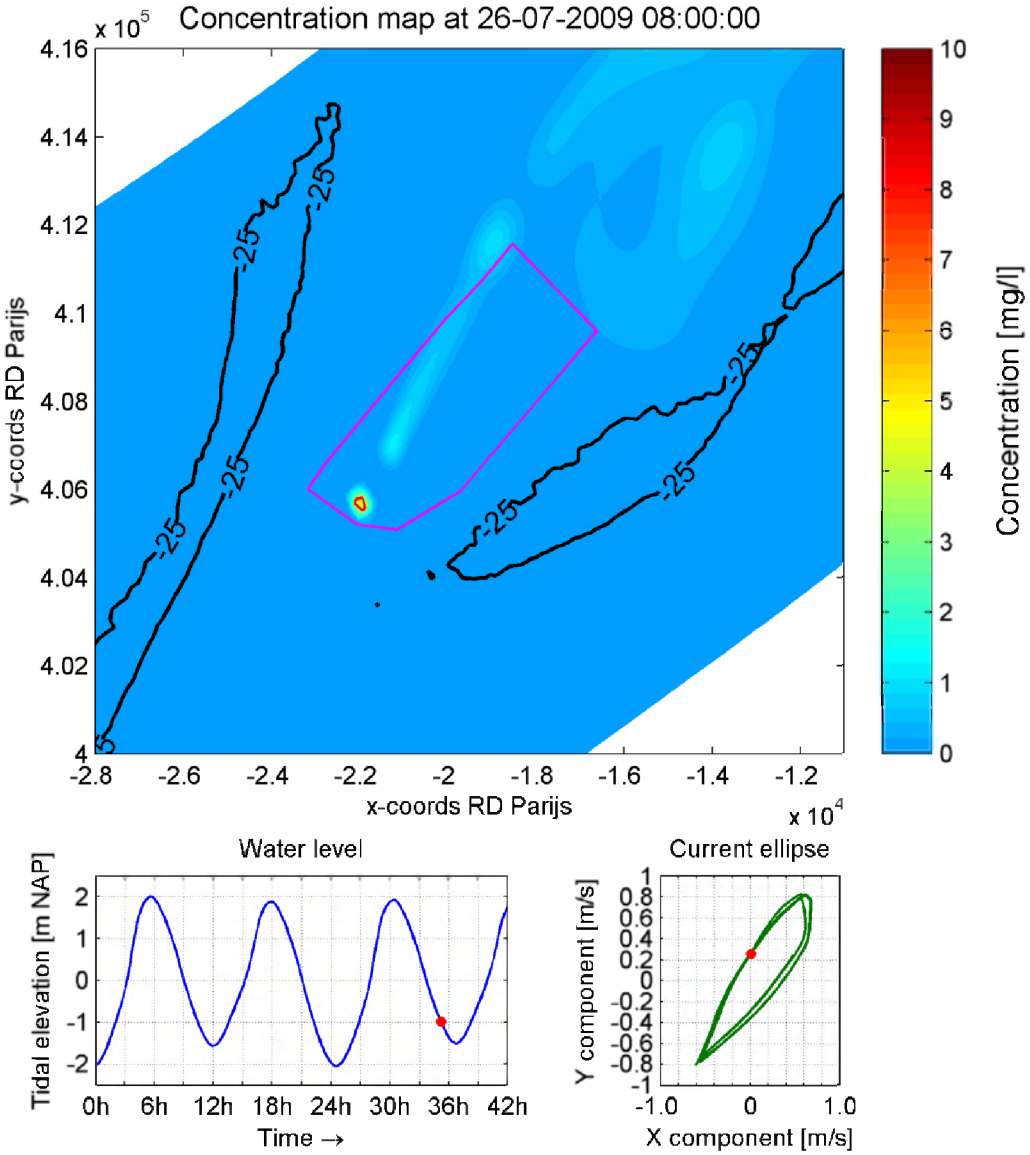


Figure 3-18 Excess SSC, water level and tidal current during dispersion of sediment plume produced by dumping in Scenario 1 for a slack water event

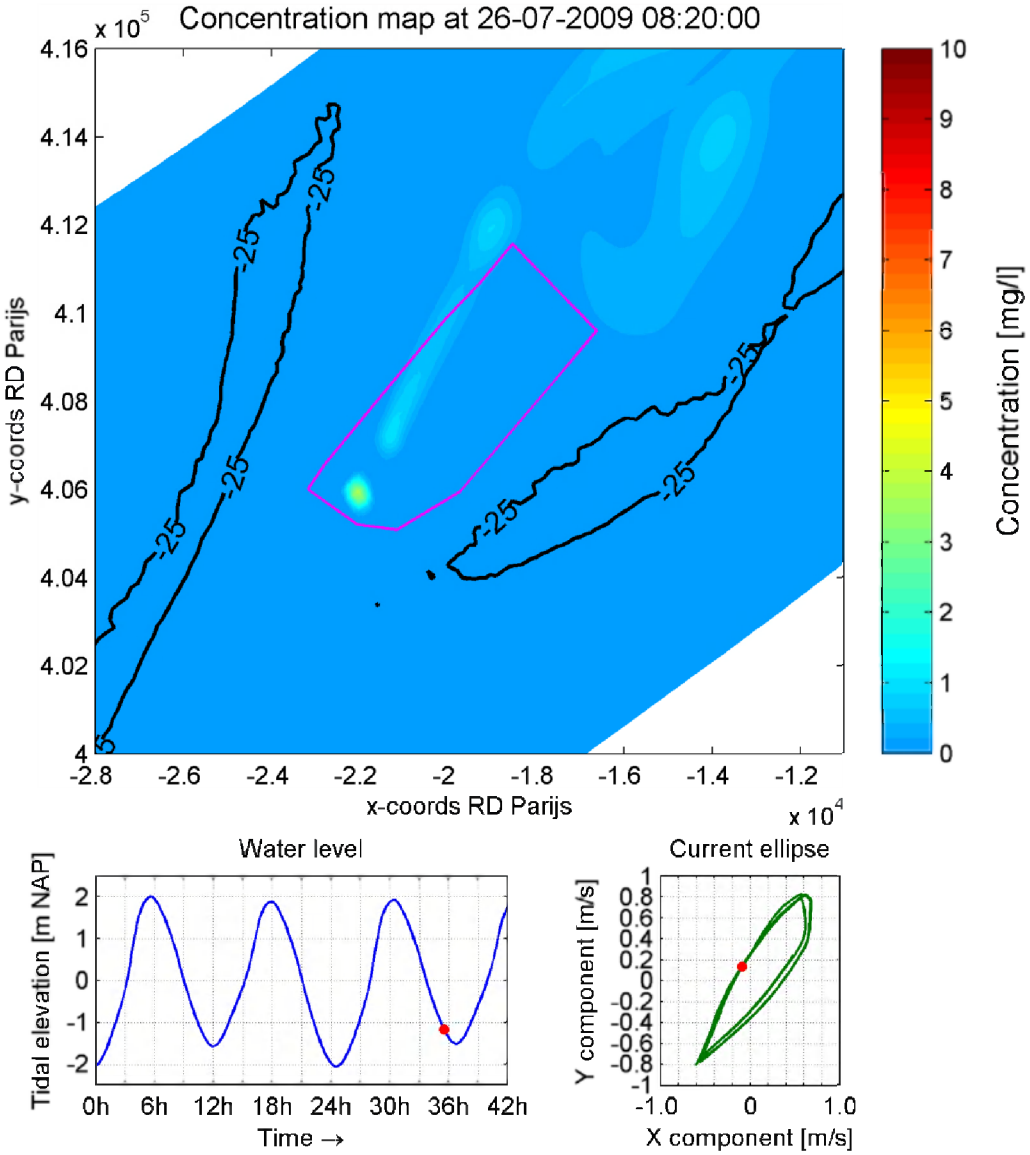


Figure 3-19 Excess SSC, water level and tidal current at disappearance of 4-mg/l contour in Scenario 1 for a slack water event

4. CONCLUSIONS

In order to analyse and to determine the impact of the dredging and dumping activities on the turbidity and suspended sediment levels in the concession zone, a 3D numerical model has been developed. Two scenarios representing different locations for the dredging and dumping activities have been investigated. The dumping is shown to have a larger impact than the dredging. A higher SSC could be observed during the dumping, exceeding the background level of 4 mg/l, while during dredging the plume rarely exceeds the background value. In case of dumping, the plume is immediately visible, in case of dredging the plume is only visible after 30 minutes (10 minutes after start overflow).

An ebb event and a flood event are respectively considered to be the worst case for each scenario in terms of lateral extent beyond the SeaStar concession zone. The worst case of the two scenarios shows that the sediment plume can move ca. 2,400 m for the ebb event and ca. 1,500 m for the flood event in the periods between occurrence of the first 4 mg/l-contour line and disappearance of the 4 mg/l-contour line. The turbidity values exceed the background level of 4 mg/l for about 60 minutes in the ebb event and for about 20 minutes in the flood event. During slack water, the sediment plume with 4 mg/l moves around only ca. 650 m within 40 minutes. The plume diameter where turbidity exceeds the background level is not larger than 500 m.

In case of dumping in the centre of the SeaStar area, sediment plumes exceeding the background level do not reach the Dutch border. In case of dumping at the SW boundary of the SeaStar concession zone, the Dutch waters were not influenced either.

In addition, the probability of exceedance over 4 mg/l and 10 mg/l during the time of creation of one foundation pit is calculated for both scenarios. The contour of this exceedance is oriented in the direction of the main tidal currents, centred around the dredging and dumping sites. For both scenarios the SSC around the dredging and dumping sites stays below 4 mg/l for more than 90% of the time within the concession zone (3.5h and 2.1h above the limit for resp. Scenario 1 and 2) and below 4 mg/l for more than 95% of the time outside the concession zone (less than 1.75h above the limit). The probability of exceedance over 10 mg/l, i.e. the upper clear water limit, is even limited to much smaller areas.

5. REFERENCES

Anchor Environmental CA L.P. (2003). Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations. Prepared for Los Angeles Contaminated Sediments Task Force.

Depret-G-tec (2009). Seismisch onderzoek in Exploratiezone 4 op het Belgisch Continentaal Plat. 08D-005-Depret-SeisVibro/MA/GP/RE001, pp.236. In opdracht van de Vlaamse Overheid, Afdeling Kust.

IMDC, as member of Consortium ARCADIS – Technum (2007). Milieueffecten Rapport, Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, Basistransport slibdynamiek. I/RA/11282/07.155/MSA

IMDC (2009). Hay Point Expansion. Sediment Plume Model, client Dredging International. I/RA/17132/09.084/VBA.

IMDC (2010a). Nordstream Phase 2 Sediment Plume Model. Client Dredging International. I/RA//17128/10.027/MBO.

IMDC (2010b). Macedon LNG – Turbidity study. I/RA/17000/11.039/GVH.

Van den Eynde, D., Brabant, R., Fettweis, M., Francken, F., Melotte, J., Sas, M., Van Lancker, V. (2010). Monitoring of hydrodynamic and morphodynamical changes at the C-Power and the Belwind offshore wind farm sites - A synthesis. In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. (Eds.) (2010) Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgia Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R., and Van Ormondt, M. (2004). Description of TRANSPORT2004 and Implementation in Delft3D-ONLINE. Report No. 3748.00, Delft Hydraulics, the Netherlands.

Verfaillie, E., Van Lancker, V. and Van Meirvenne, M. (2006). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. Continental Shelf Research 26, 2454-2468.

6. APPENDIX — FULL DREDGING AND DUMPING CYCLE

6.1 SCENARIO 1

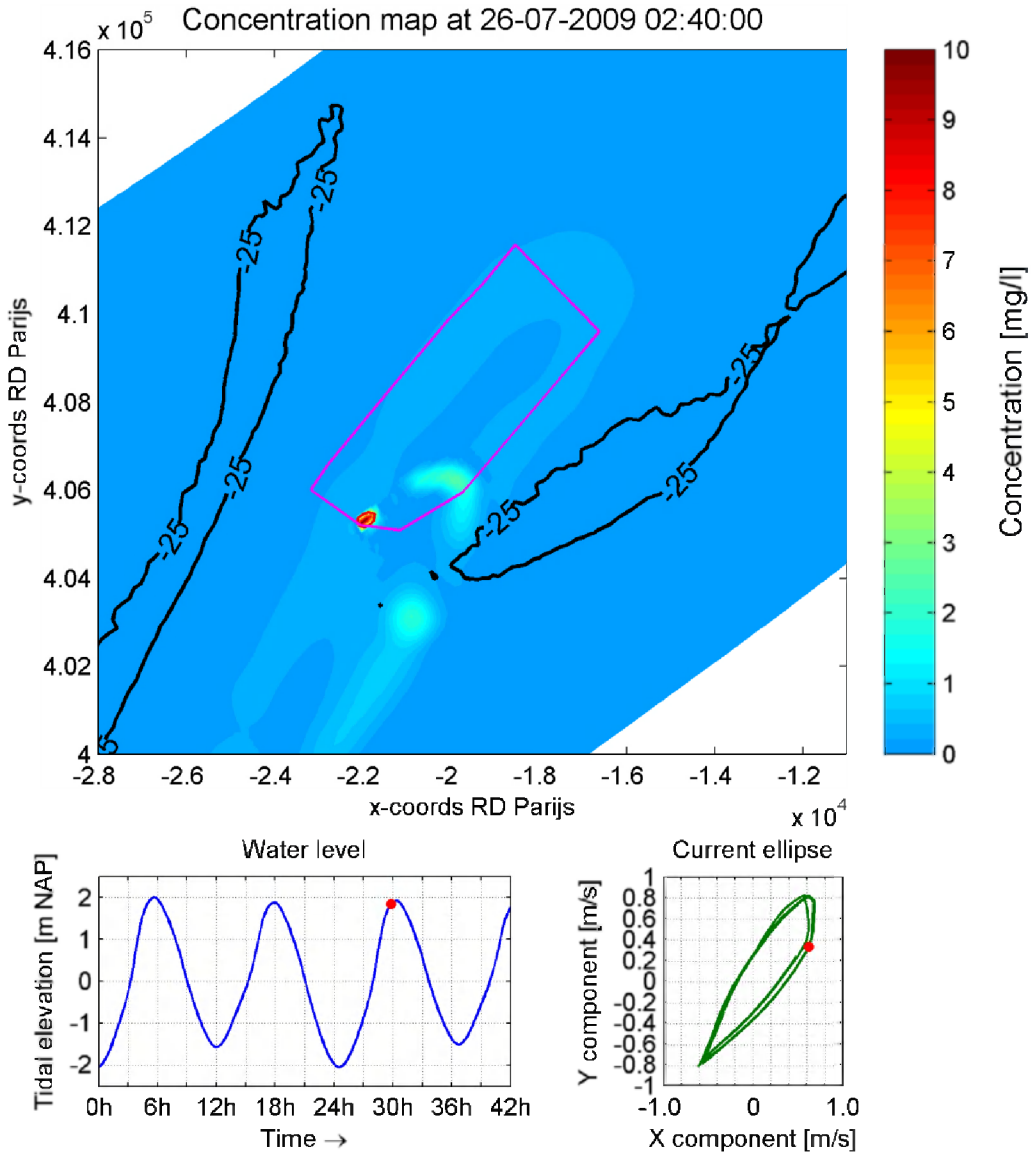


Figure 6-1 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 10min after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

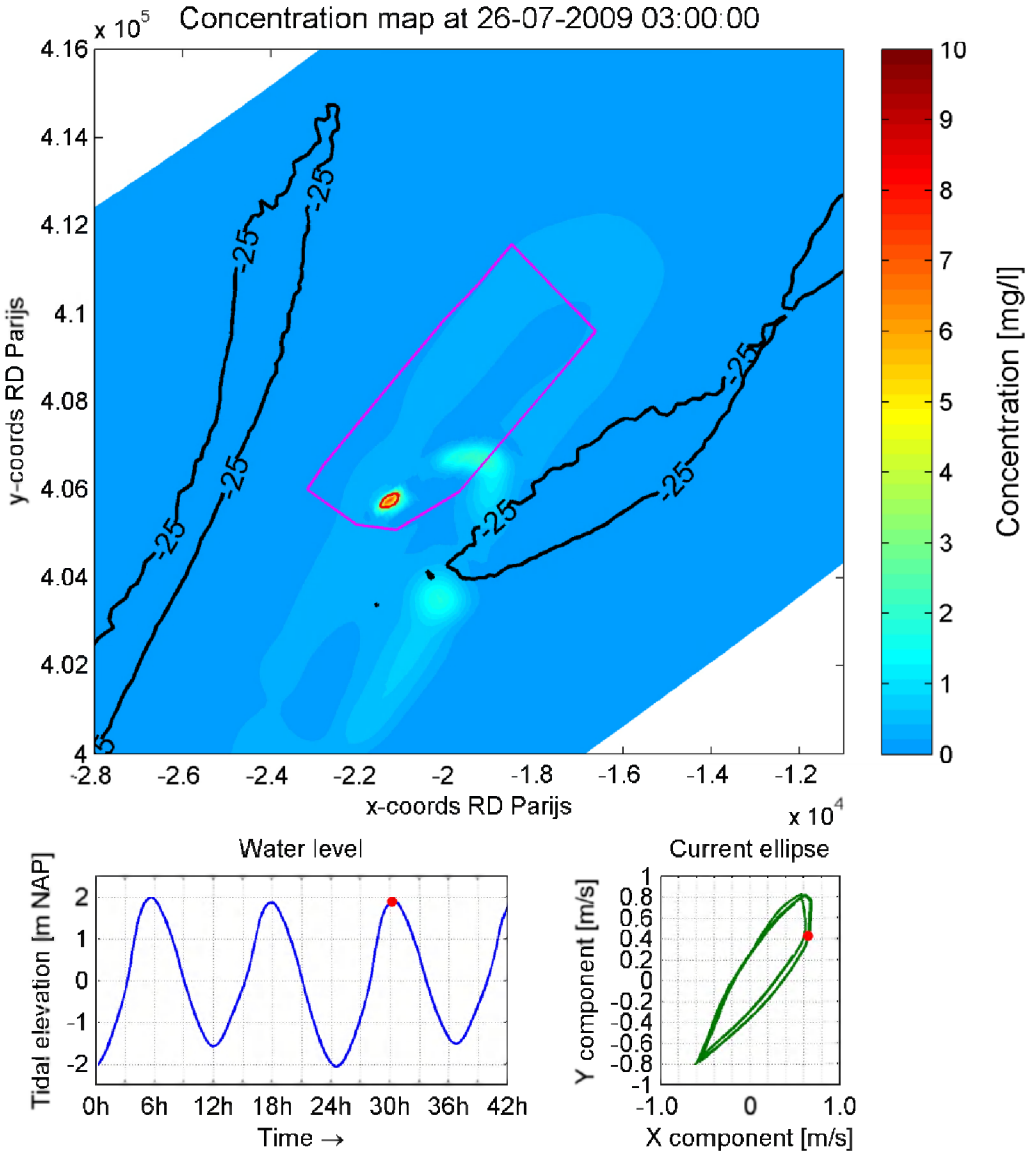


Figure 6-2 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 30min after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

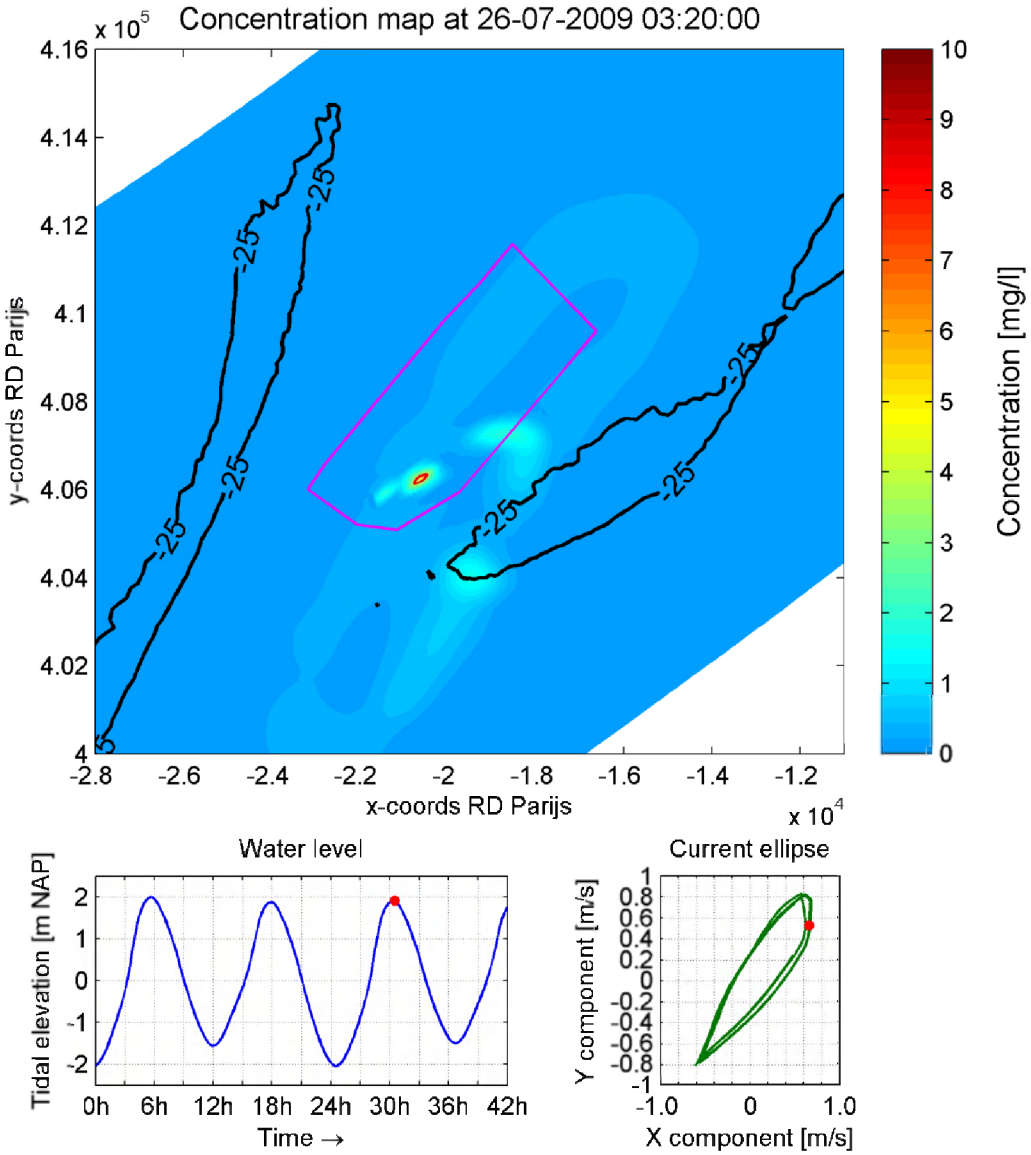


Figure 6-3 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 50min after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1. First observation of plume due to dredging of cycle 13, 30 min after start (02:50)

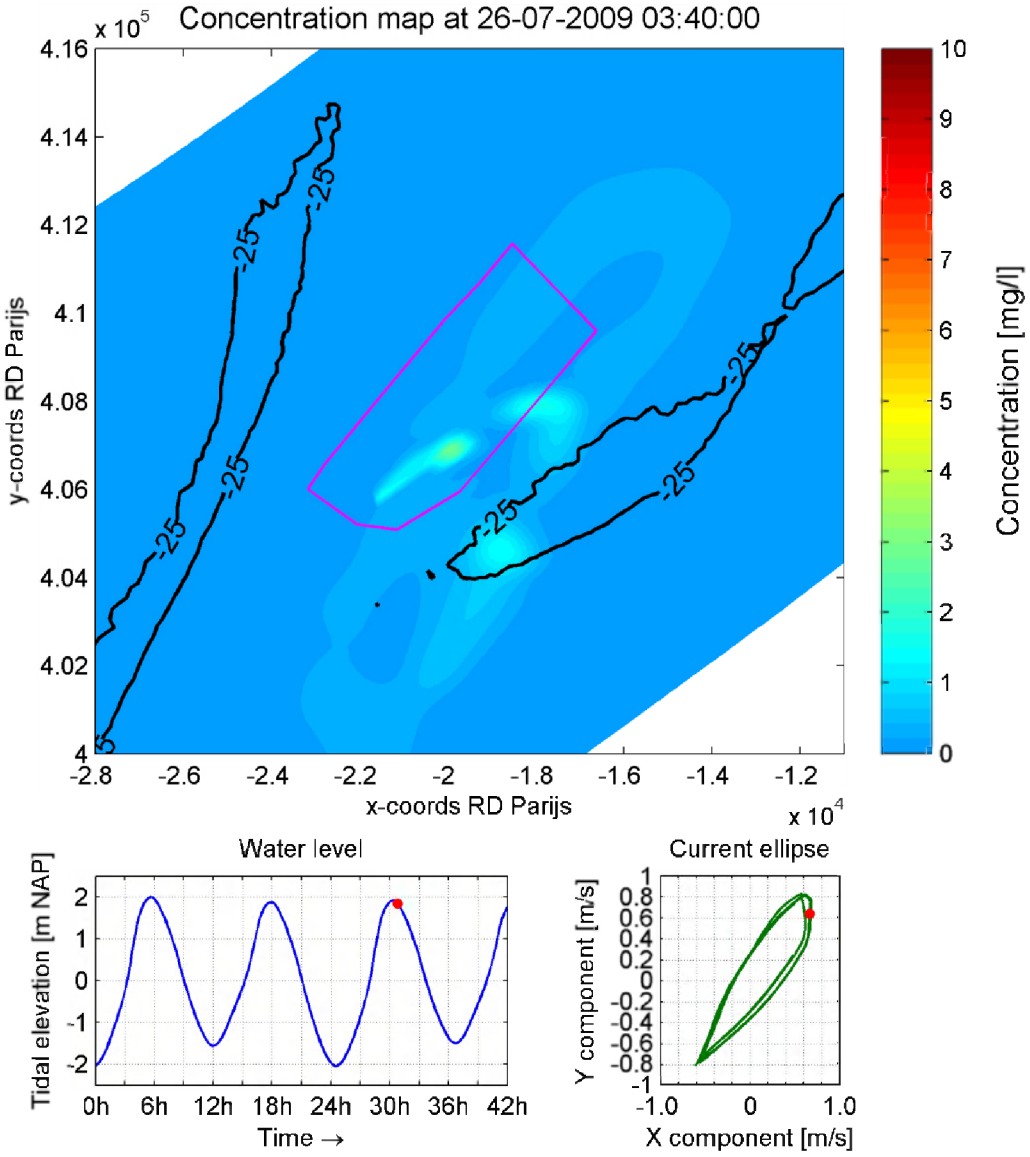


Figure 6-4 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h10 after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

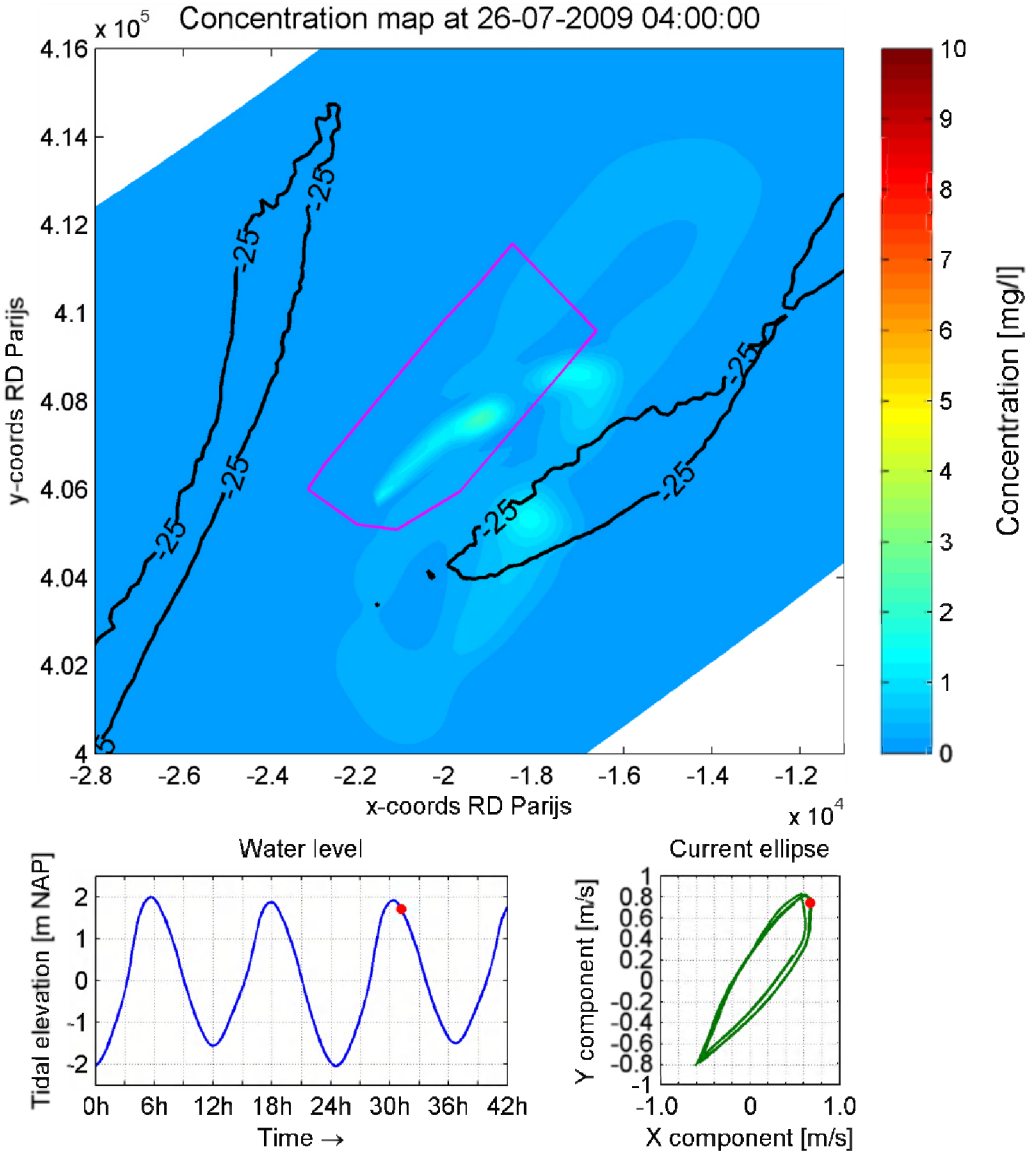


Figure 6-5 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h30 after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

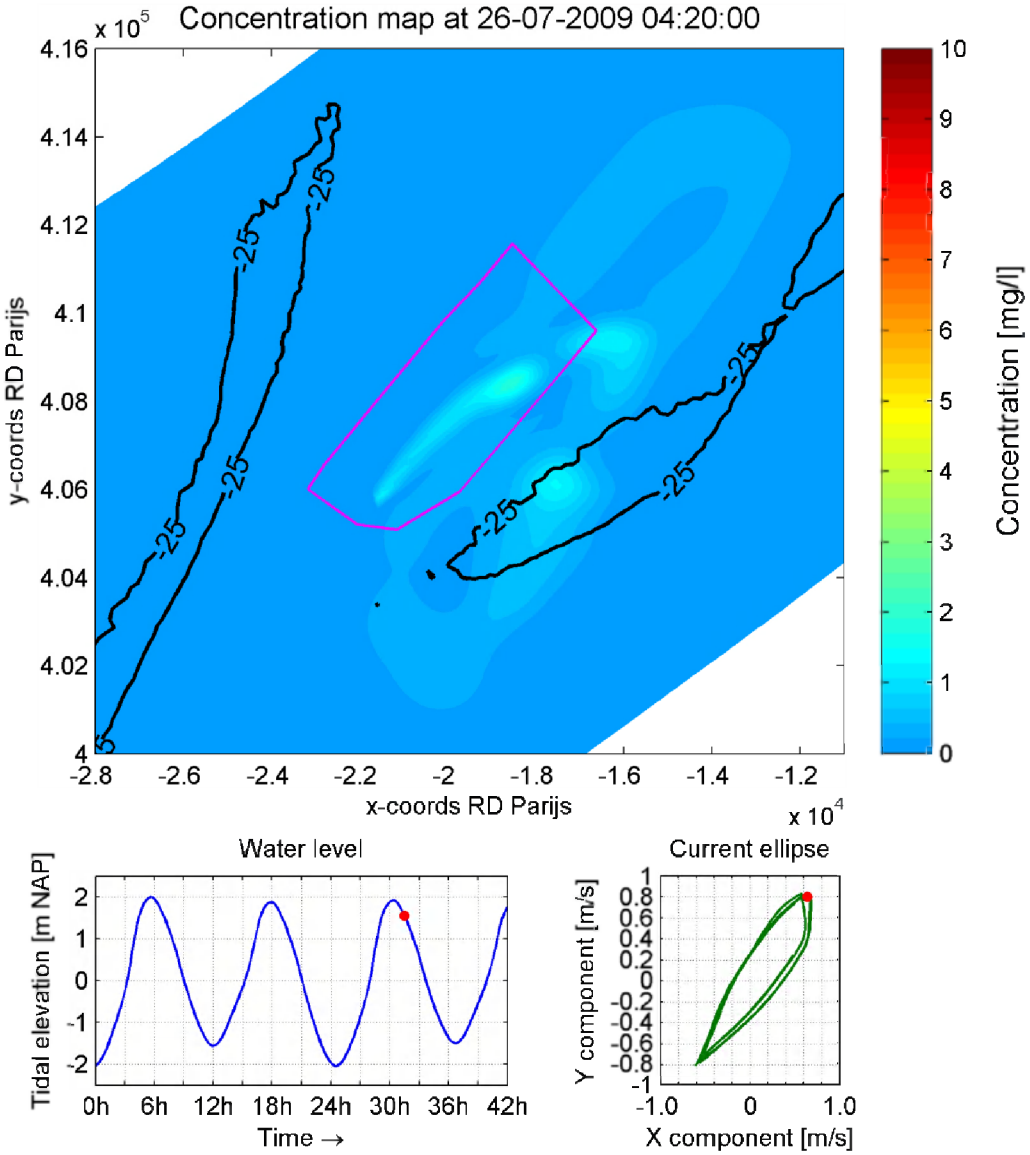


Figure 6-6 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h50 after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

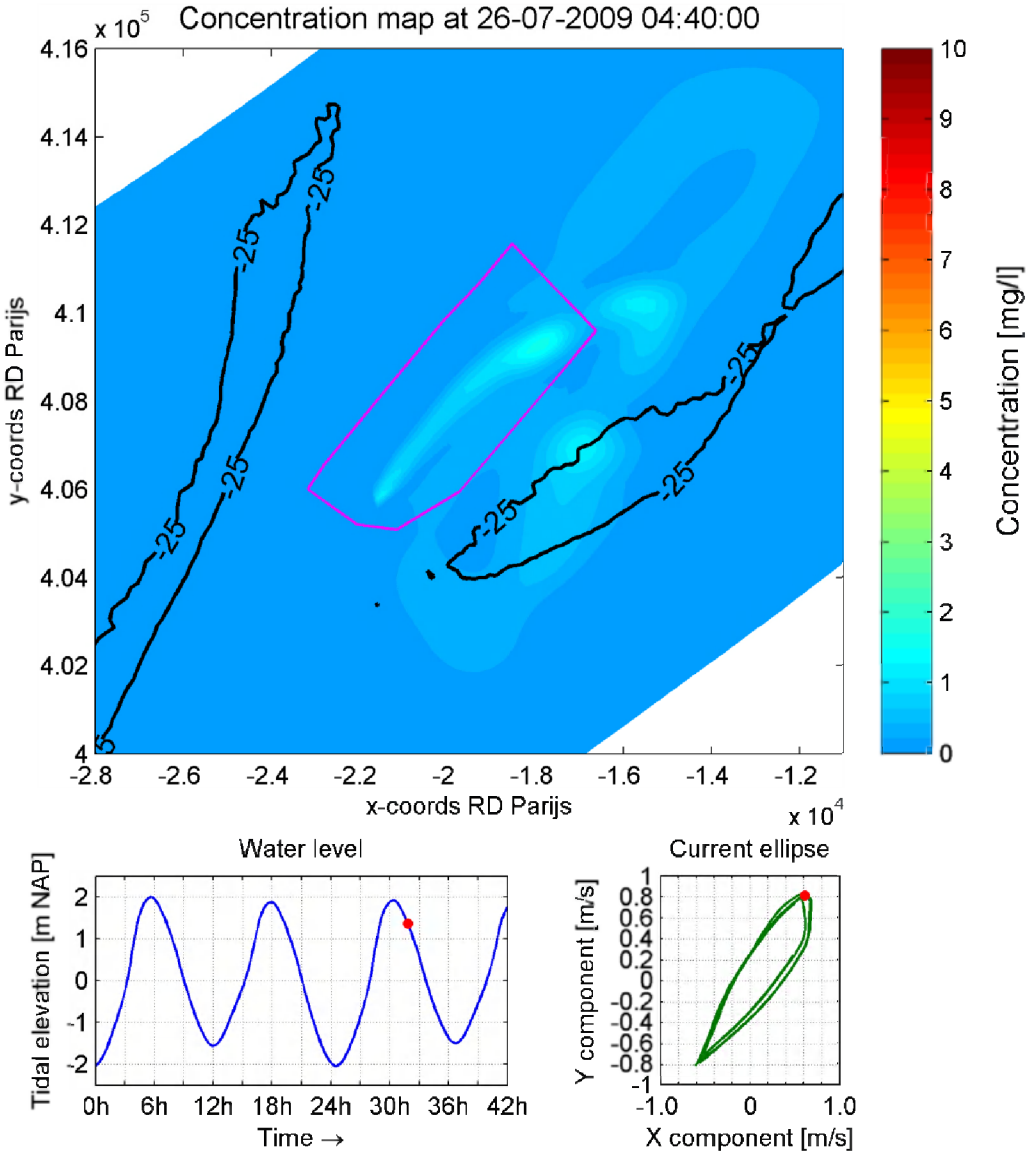


Figure 6-7 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 2h10 after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1

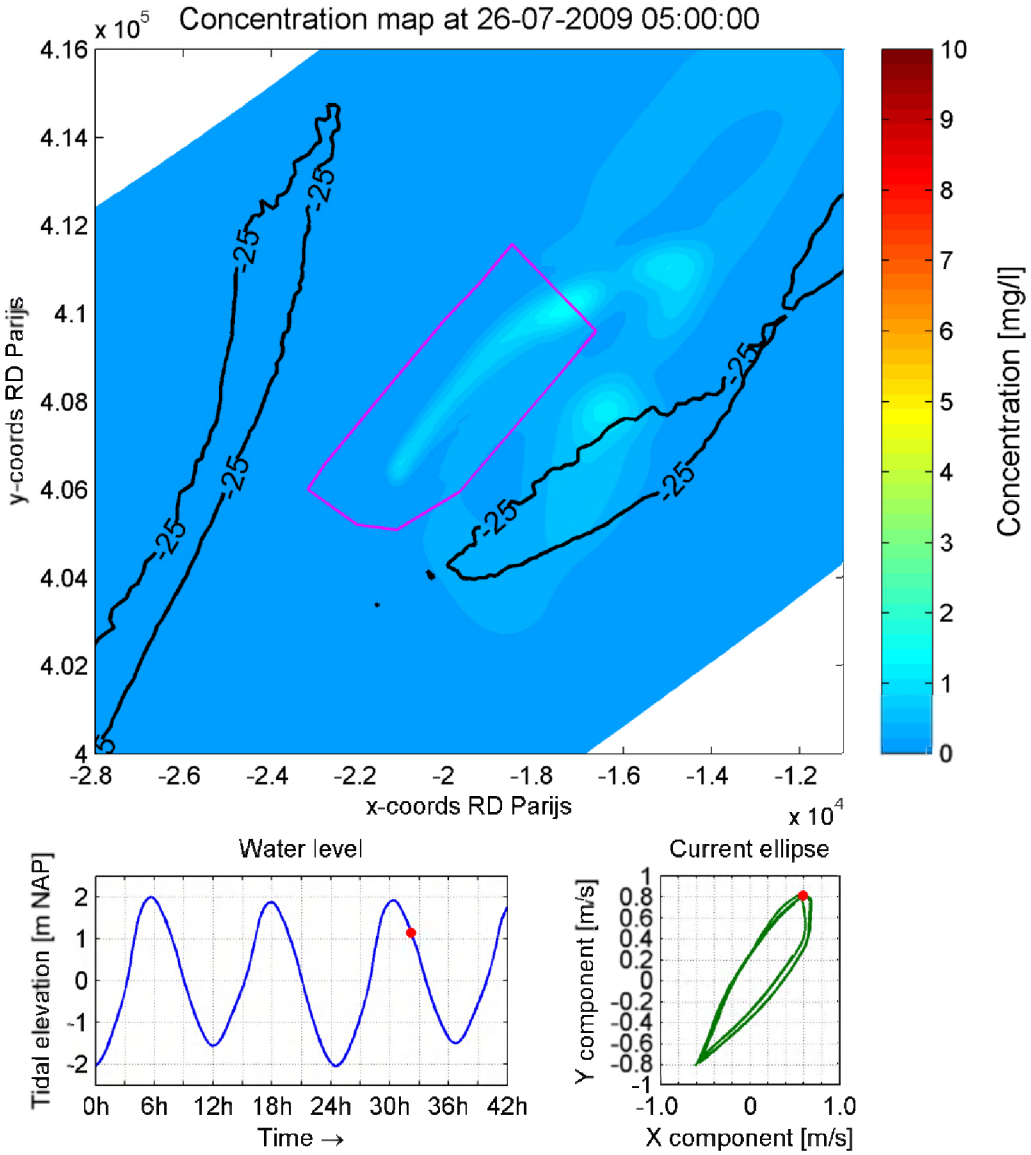


Figure 6-8 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 2h30 after dumping in cycle 12 (02:30) during a flood event in Scenario 1. Dump of cycle 13 (05:00) is not visible yet

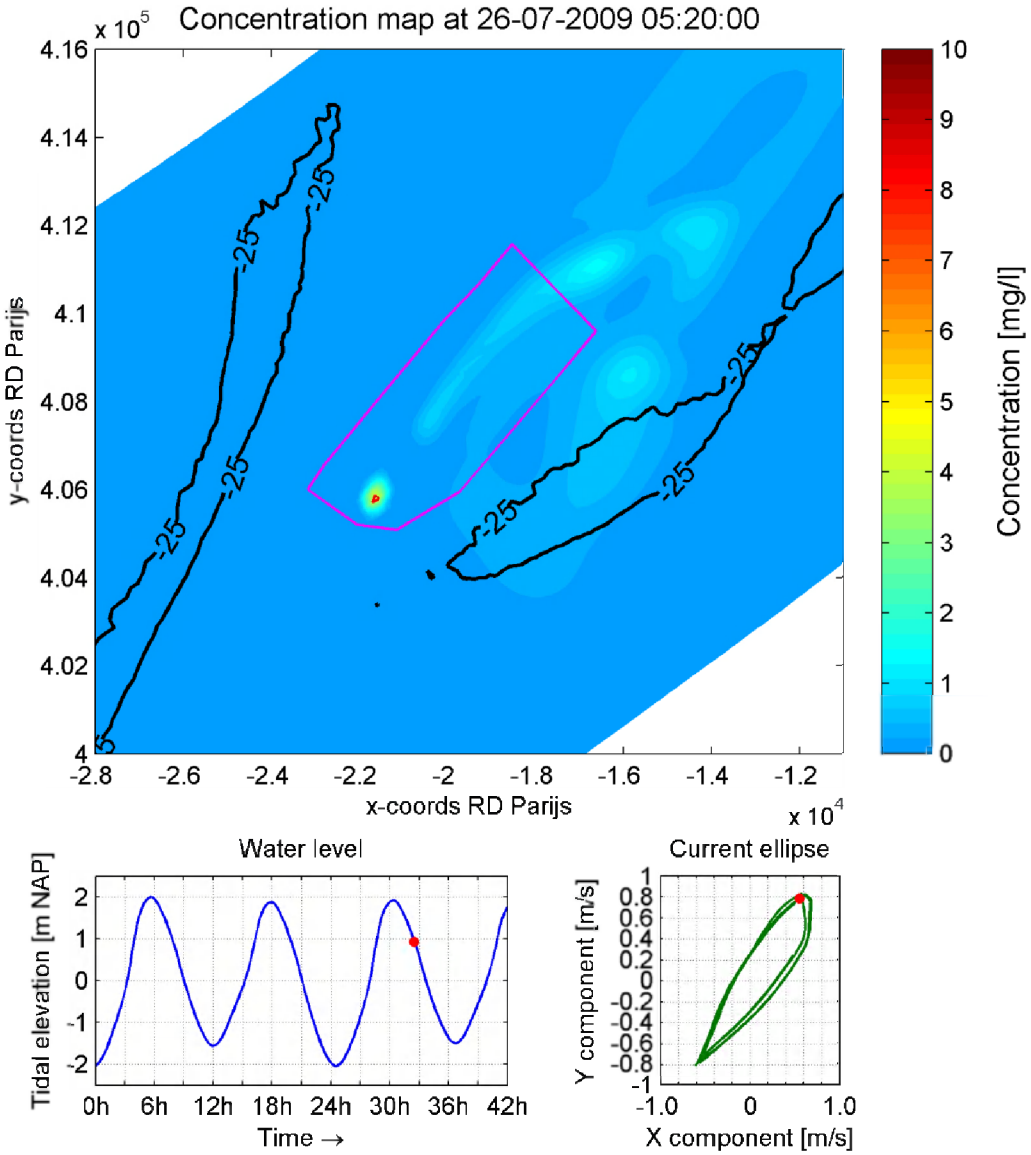


Figure 6-9 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 20min after dumping in cycle 13 (05:00) during a flood event in Scenario 1. Start dredging of cycle 14 (05:20), plume not visible yet

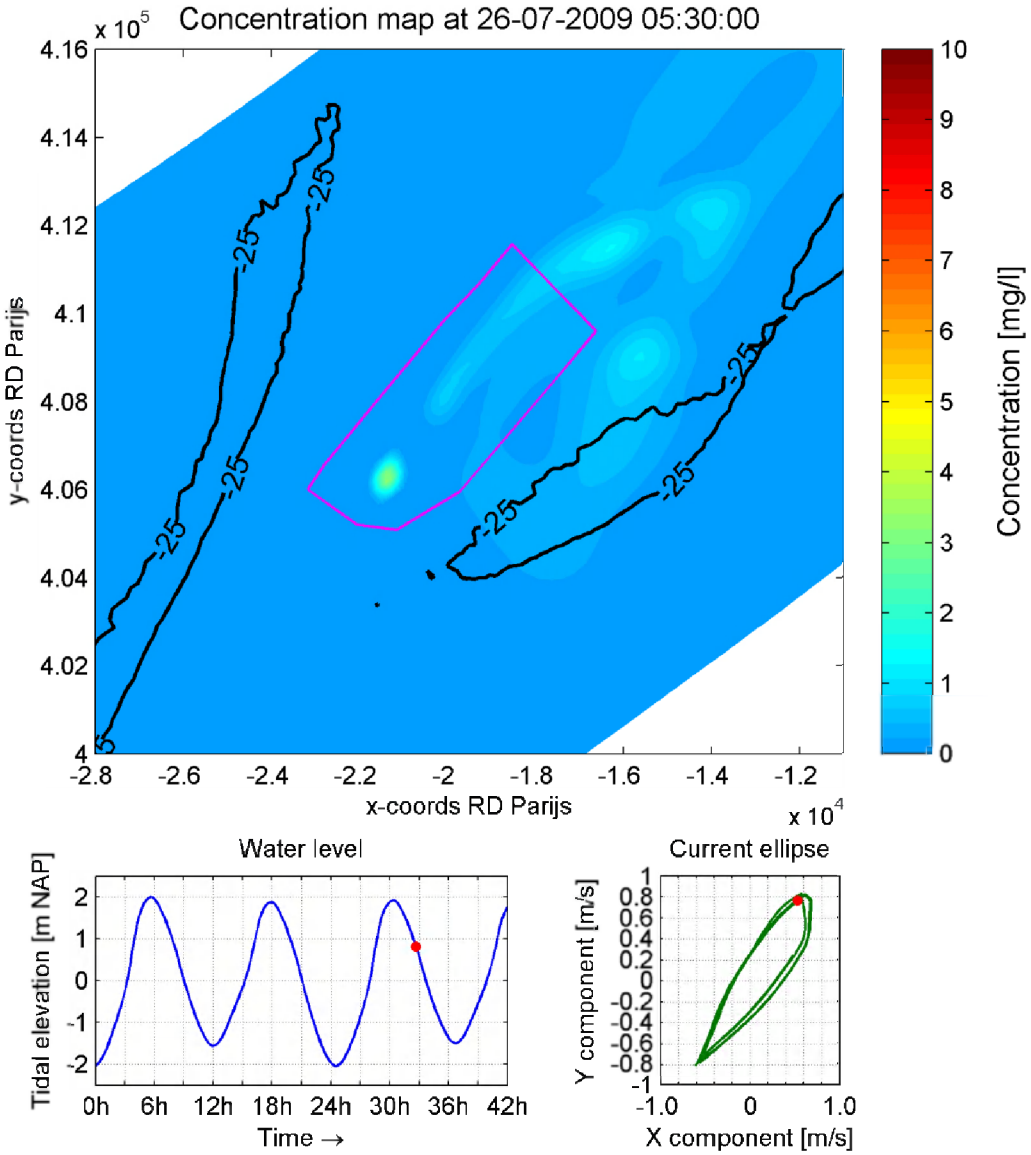


Figure 6-10 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 30min after dumping in cycle 13 (05:00) during a flood event in Scenario 1. Start dredging of cycle 14 (05:20), plume not visible yet

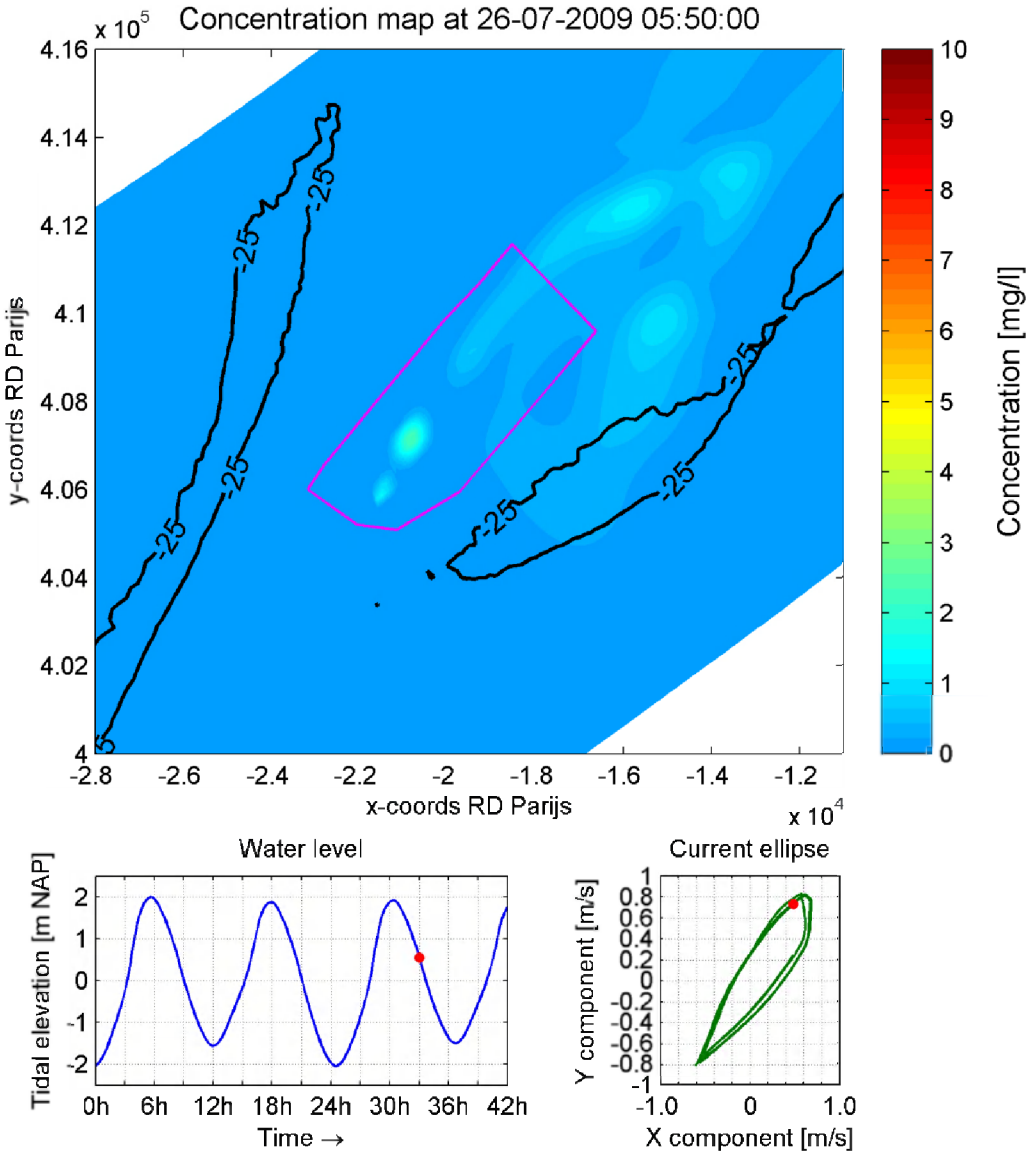


Figure 6-11 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 50min after dumping in cycle 13 (05:00) during a flood event in Scenario 1. Start dredging of cycle 14 (05:20), plume starts to visualise after 30min (most southern plume)

6.2 SCENARIO 2

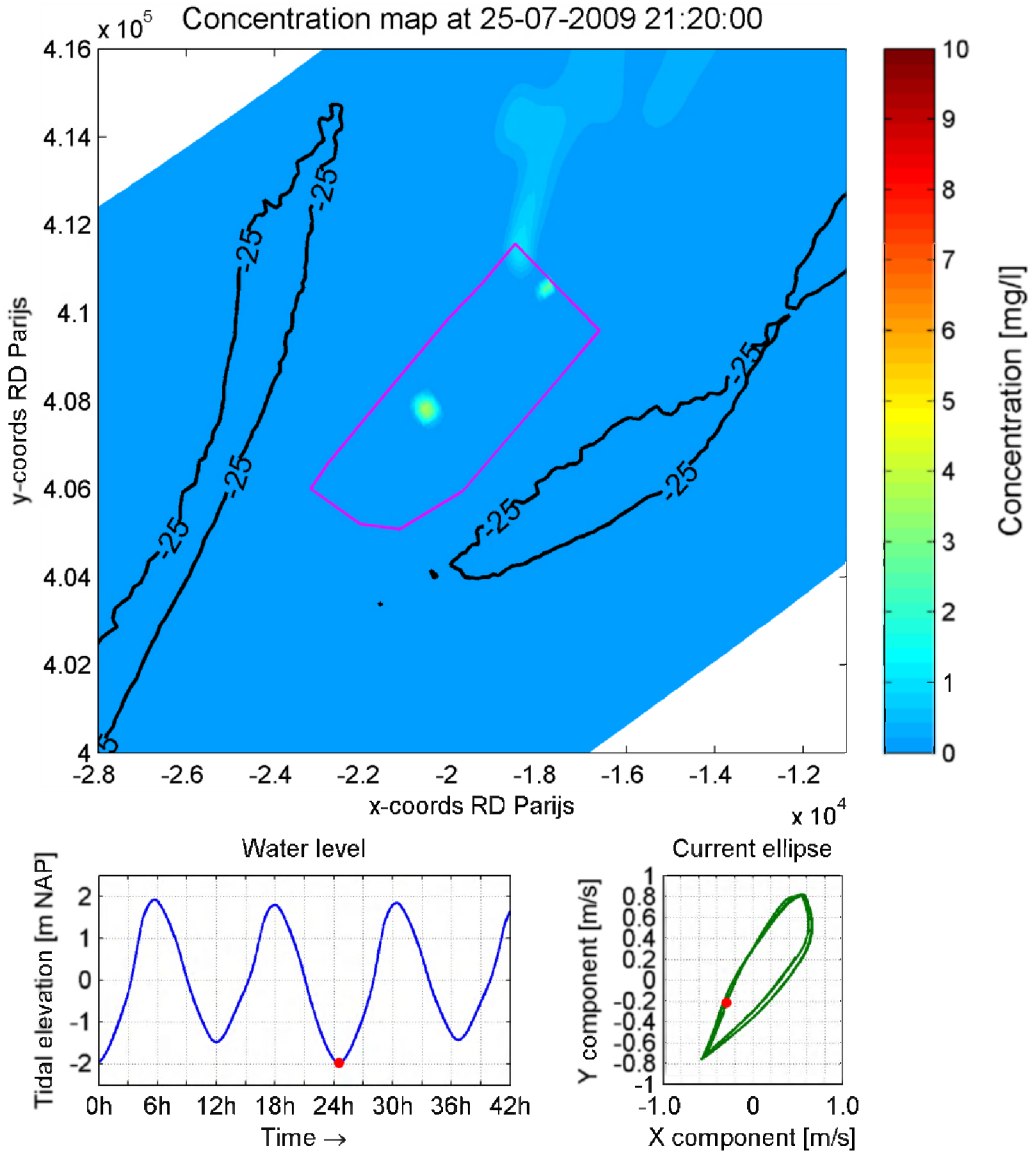


Figure 6-12 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 30min after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2, the small dredging plume starts to be visible at NE boundary. Plume in centre is from dumping during previous cycle.

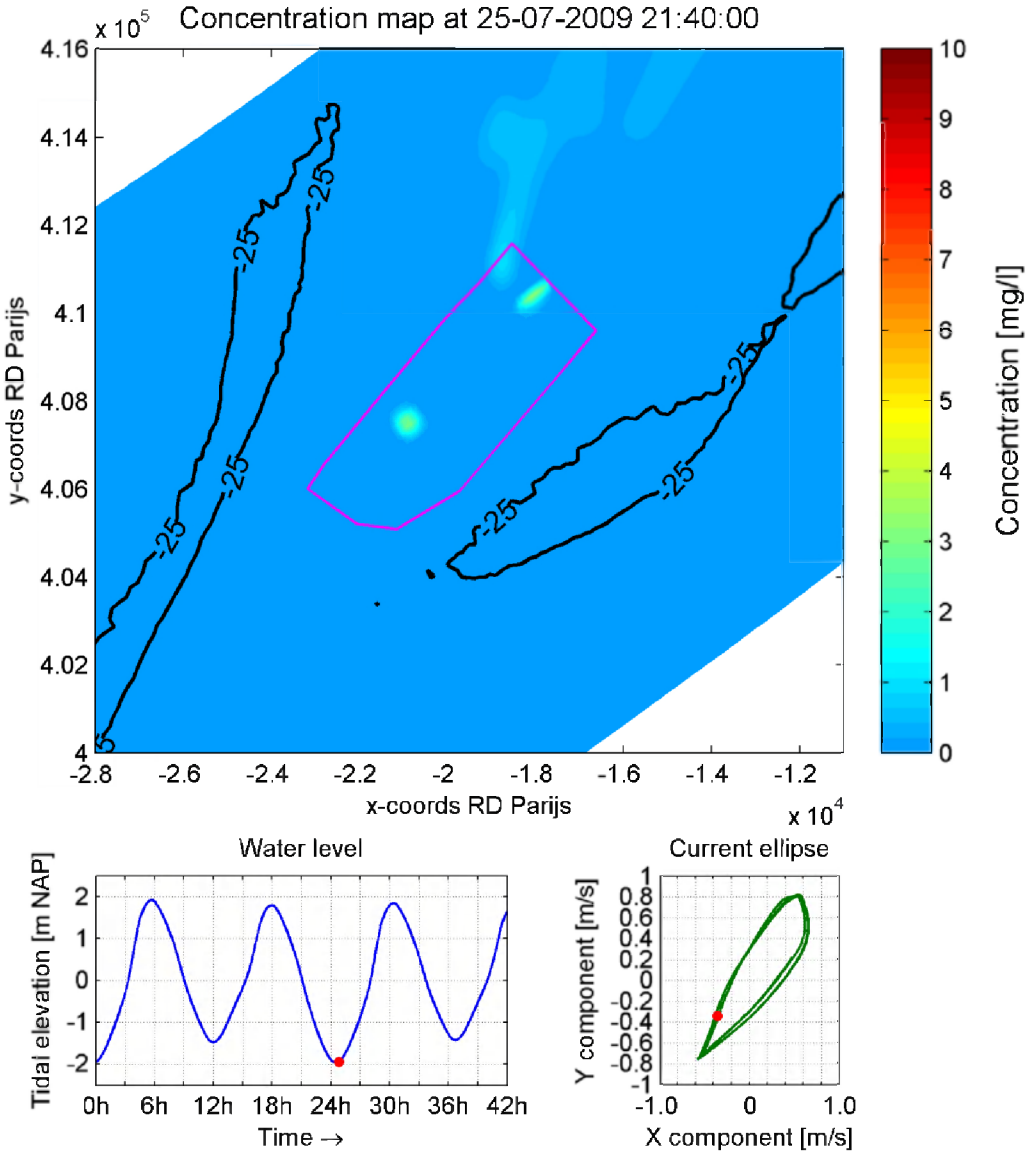


Figure 6-13 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 50min after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2

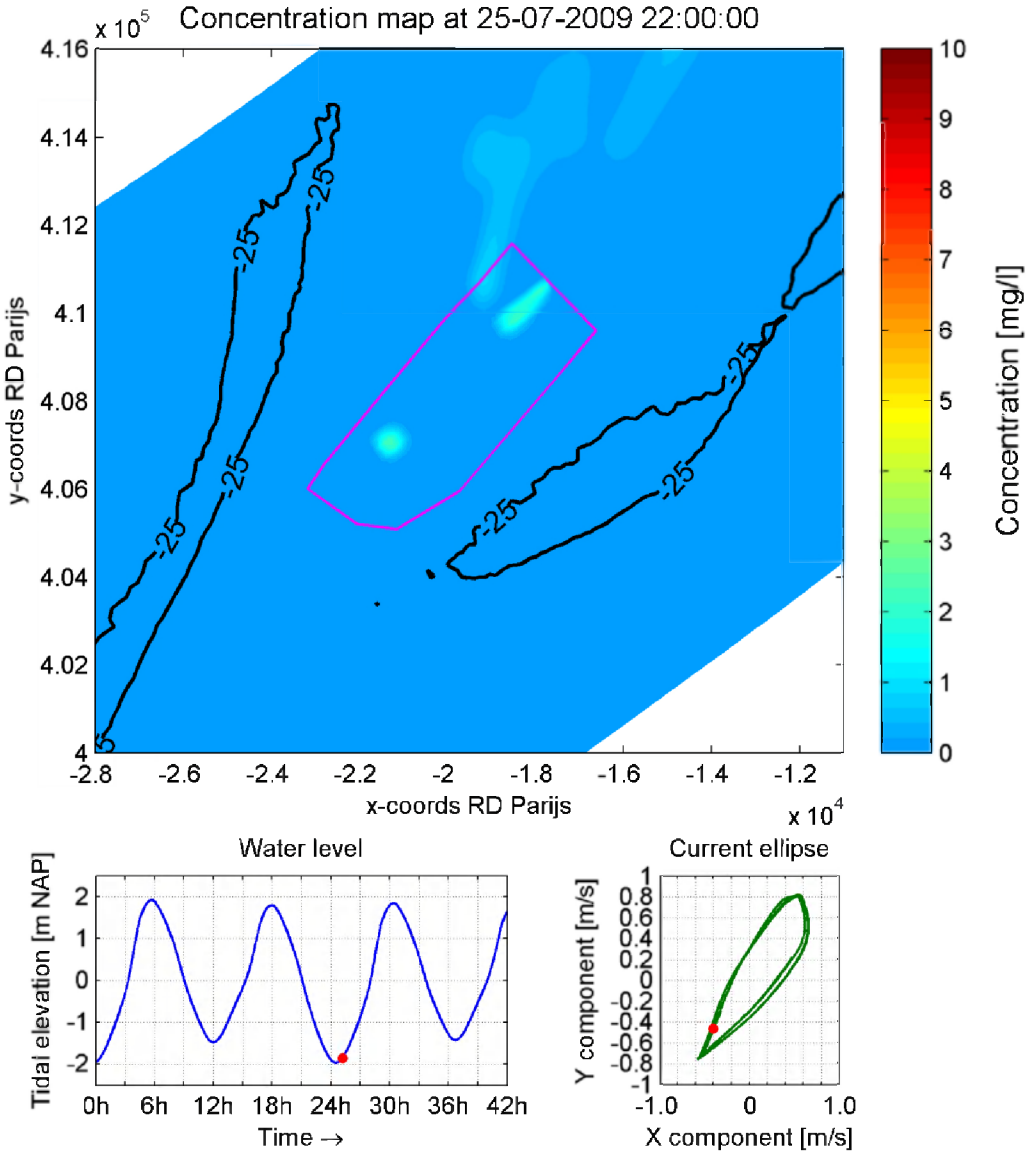


Figure 6-14 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h10 after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2

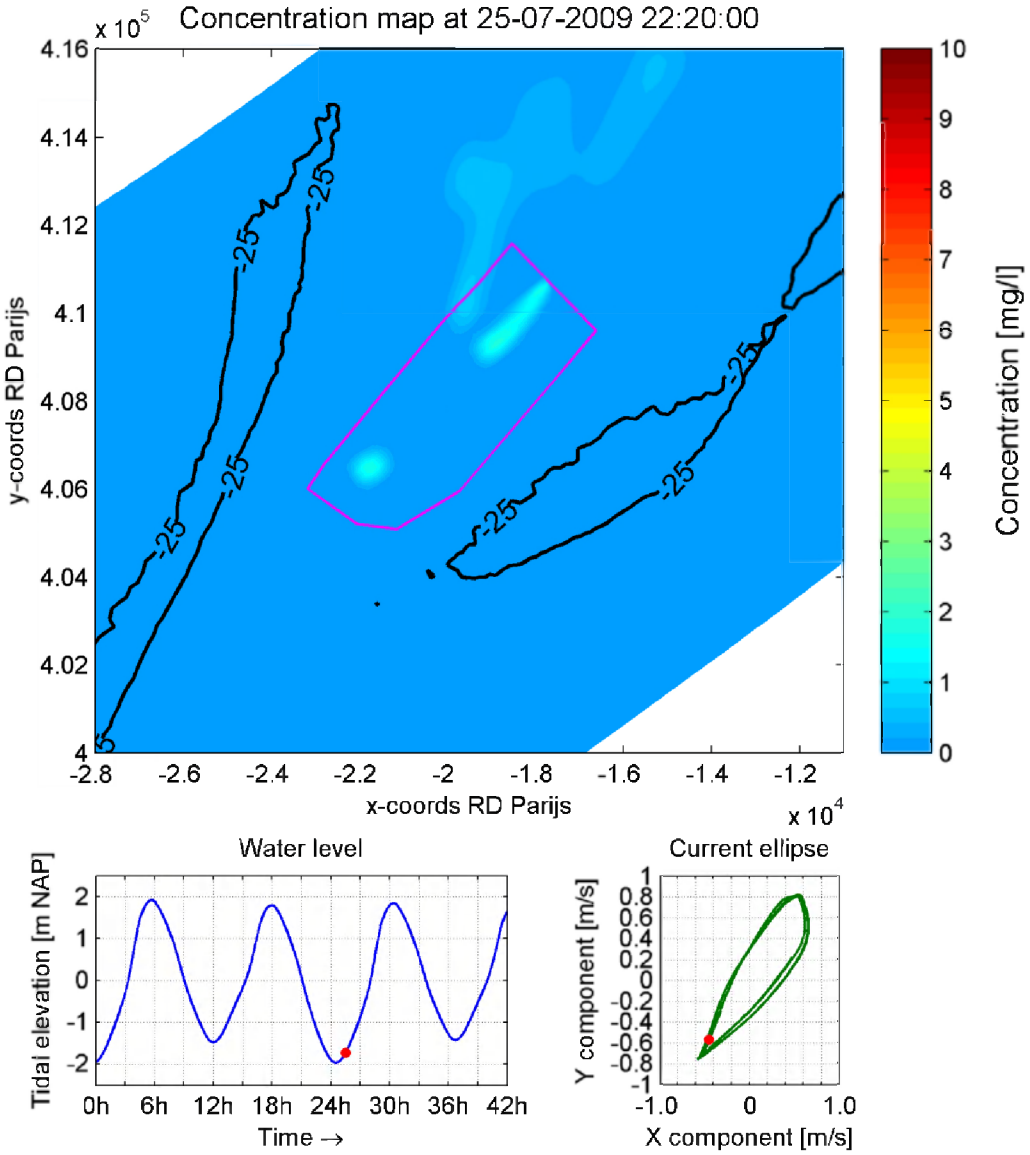


Figure 6-15 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h30 after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2

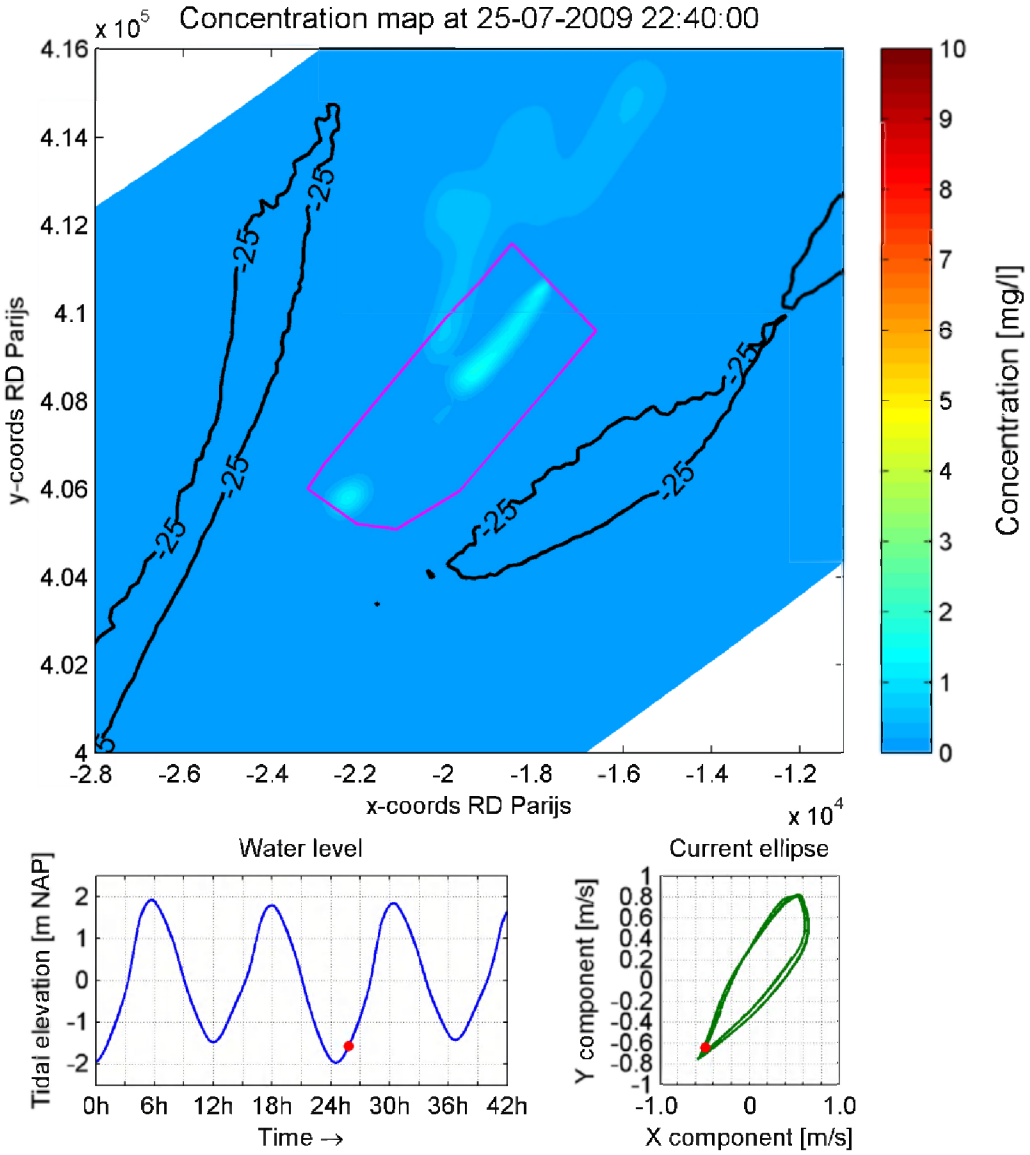


Figure 6-16 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h50 after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2

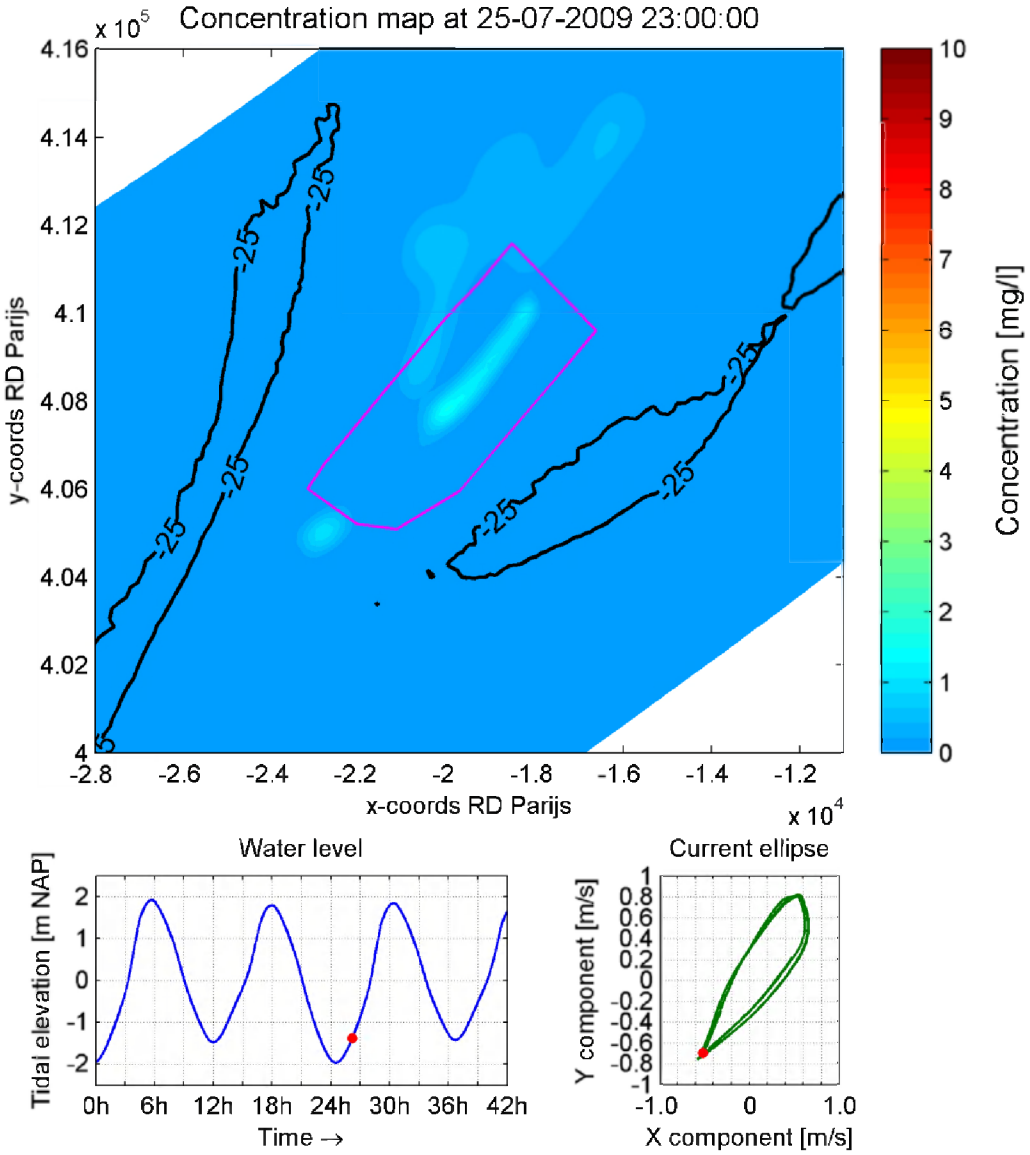


Figure 6-17 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 2h10 after dredging in cycle 9 (20:50) during an ebb event in Scenario 2

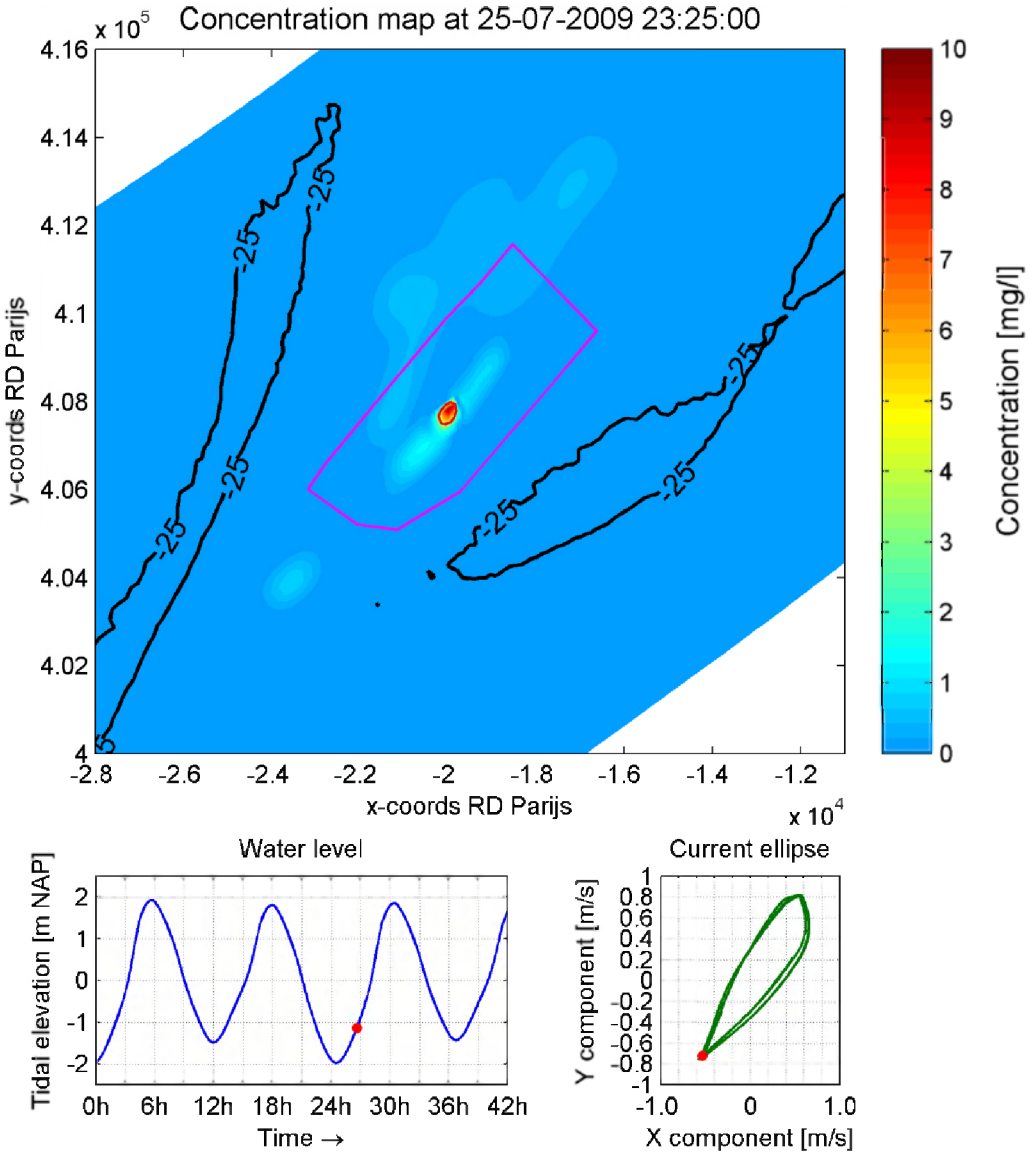


Figure 6-18 Evolution of sediment plume for a full dredging-dumping cycle 2h35 after dredging in cycle 9 (20:50) and 10min after dumping in cycle 9 (23:15) during an ebb event in Scenario 2. The dredge plume has reached the dump area

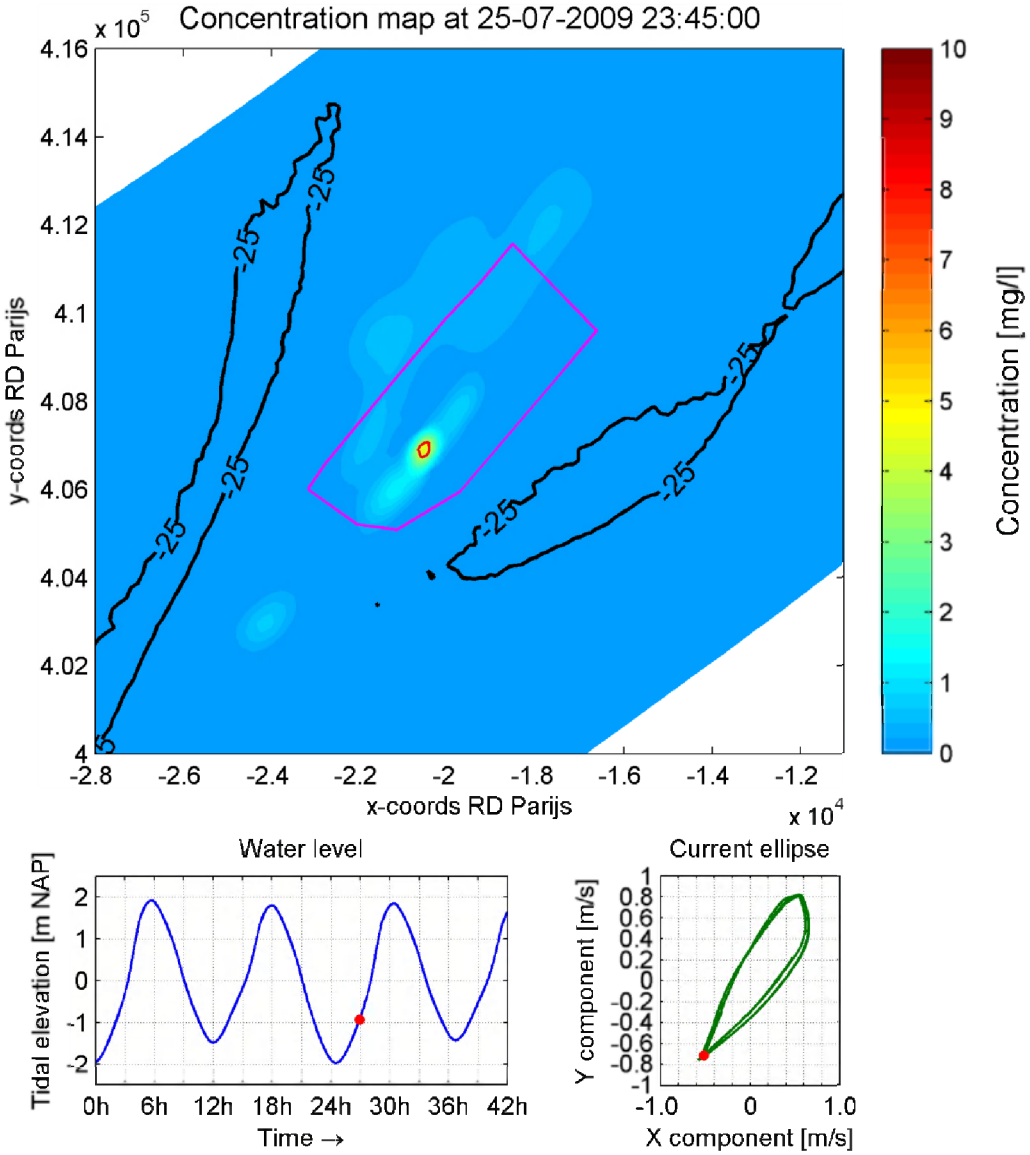


Figure 6-19 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 30min after dumping in cycle 9 (23:15) during an ebb event in Scenario 2

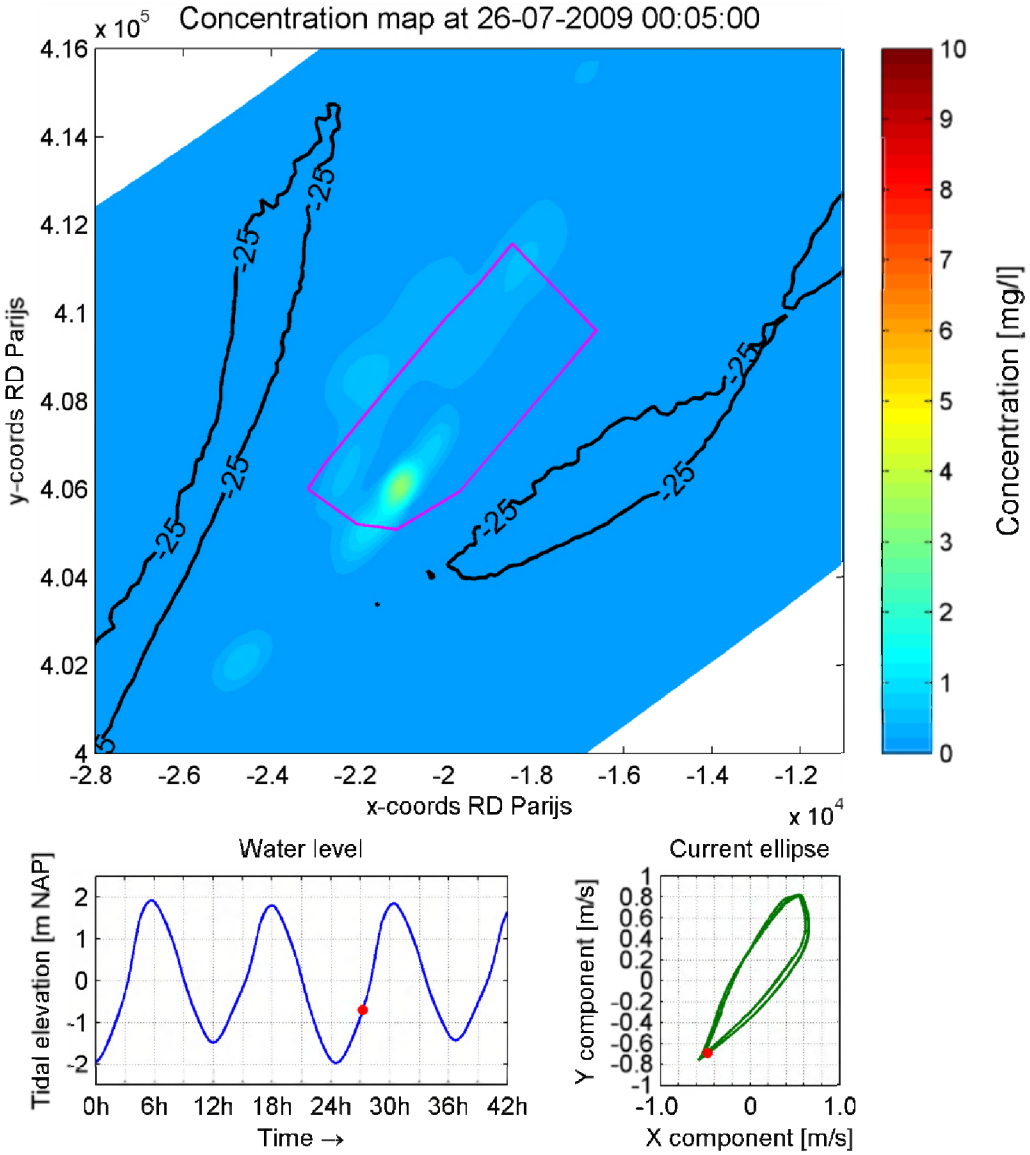


Figure 6-20 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 50min after dumping in cycle 9 (23:15) during an ebb event in Scenario 2. Dredge plume of cycle 10 (23:50) is not visible yet

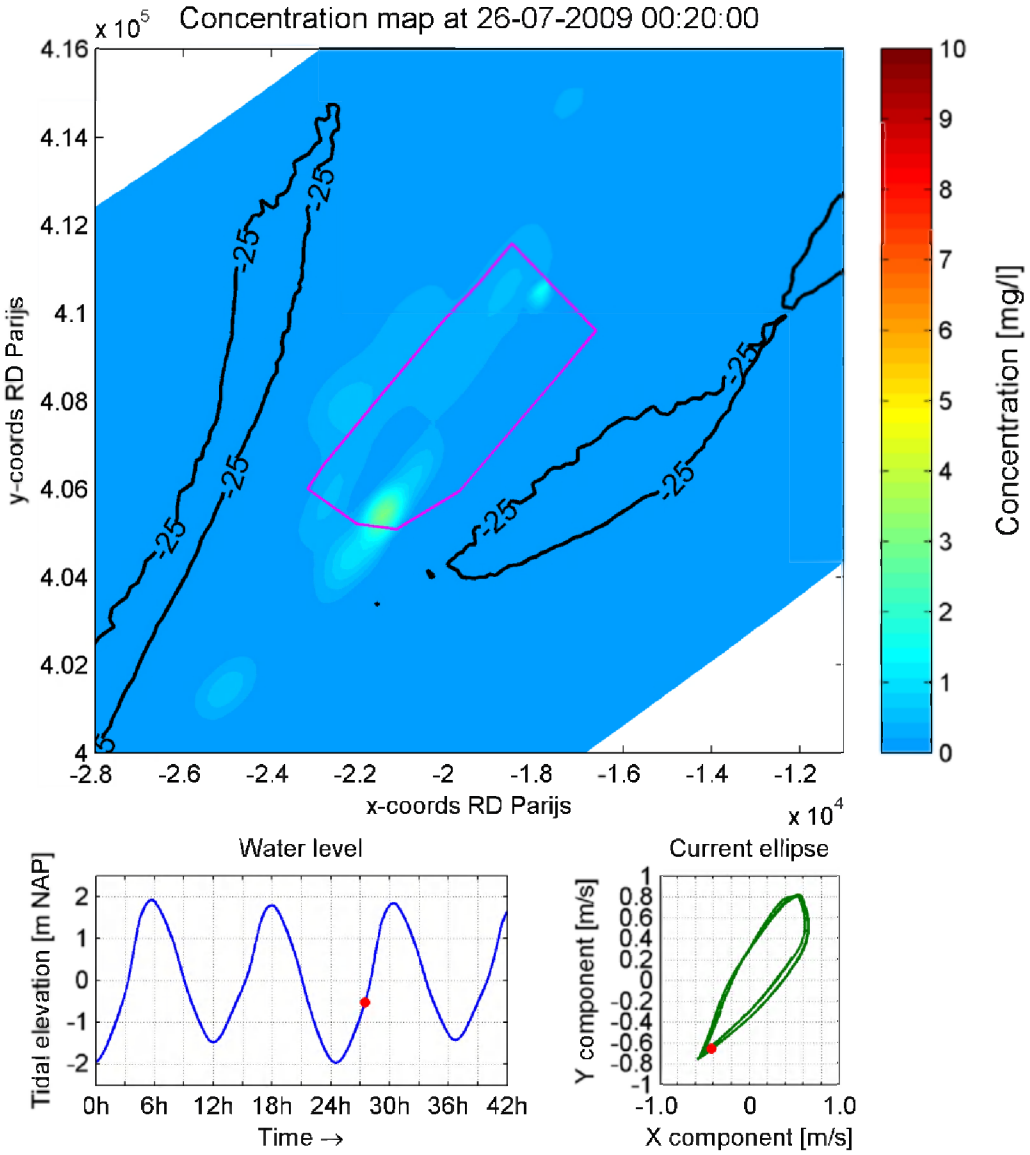


Figure 6-21 Evolution of a sediment plume for a full dredging-dumping cycle 1h5 after dumping in cycle 9 (23:15) during an ebb event in Scenario 2. Dredge plume of cycle 10 (23:50) starts to visualise after 30min

RAPPORT



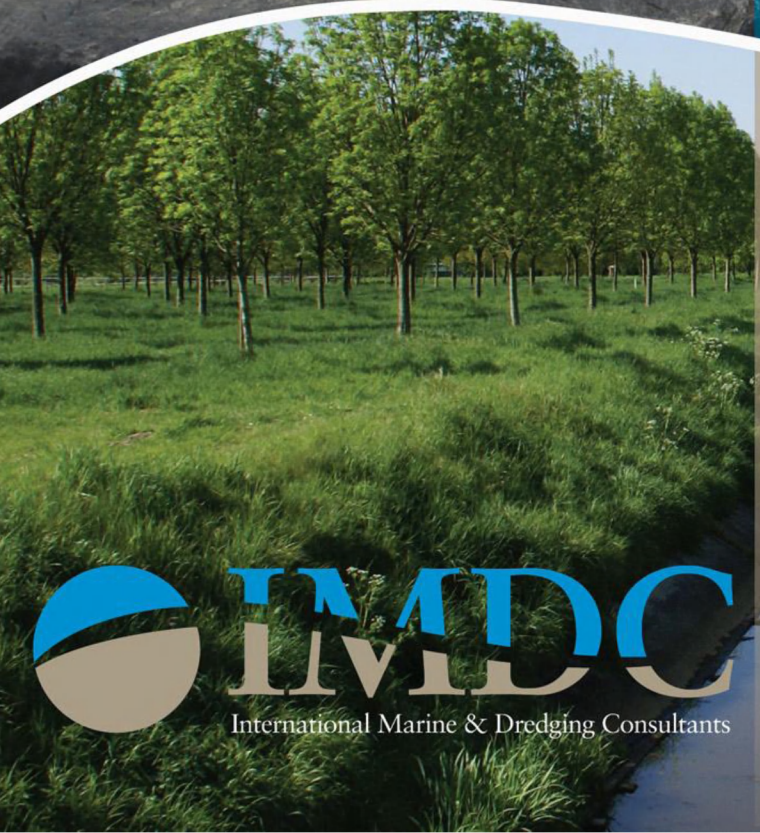


THV SeaStar

Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar

Life Cycle Analysis

16 april 13 - versie 1.0





IMDC
International Marine & Dredging Consultants

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Titel	Life Cycle Analysis
Project	Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar
Opdrachtgever	THV SeaStar
Documentref	I/RA/11421/13.126/MGO/
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11421 - MER SeaStar\10-Rap\Externe bijlagen\3.IMDC2013c_RA13126_LifeCycleAnalysis\RA13126_LCA_v1.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	16/04/13	Rapport na goedkeuring nota NO12357_LCA_MER SeaStar_v3.0	MGO	MIM	MSA

Verdeellijst

	Analoog	
x	Digitaal	Marc Huygens (THV SeaStar)

Inhoudstafel

1. INLEIDING 4
2. LIFE CYCLE ASSESSMENT 6
2.1 LITERATUUR 6
2.2 EEN 10 MW TURBINE IN DE SEASTAR CONSESSIEZONE 7
2.2.1 De productiefase 8
2.2.2 Transportfase 9
2.2.3 Constructiefase 10
2.2.4 Operationele fase 10
2.2.5 Ontmantelingsfase 11
3. CONCLUSIE 13
4. REFERENTIELIJST 15
4.1 PUBLICATIES 15
4.2 WEBSITES: 16

Bijlagen

BIJLAGE A VOORBEELD LCA (DONG, 2008) 17
A.1 HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE WINDTURBINES 18
A.2 LCA OFFSHORE WINDTURBINE 2005 19
A.3 LCA OFFSHORE WINDTURBINE 2025 (3 SCENARIO'S) 27
BIJLAGE B EIGEN BEREKENINGEN 34
B.1 BEREKENINGEN VOOR DE GBF VAN EEN 10 MW TURBINE IN 40M DIEP WATER 35
B.2 ENERGIECONSUMPTIE PRODUCTIEFASE 36
B.3 CO_2 UITSTOOT PRODUCTIEFASE 38

Lijst van tabellen

TABEL 2-1: RELEVANTE GEGEVENS VOOR EEN CLIPPER BRITANNIA 10 MW TURBINE IN HET SEASTAR CONCESSIEGEBIED. 7

TABEL 2-2: ENERGIEVERBRUIK EN CO_2 UITSTOOT PER TON GEPRODUCEERD MATERIAAL (POSITIEF AFGERONDE WAARDEN) 8

TABEL 2-3 KWALITATIEVE INSCHATTING VAN HET EFFECT VAN DE VERSCHILLENDE PROCESSEN VAN DE ONTMANTELINGSFASE OP DE ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2-PRODUCTIE (+ TOENAME, - REDUCTIE, ++ STERKE TOENAME, -- STERKE REDUCTIE)..... 12

TABEL 3-1: ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2-UITSTOOT TIJDENS DE LEVENSCYCLUS VAN EEN 10 MW WINDTURBINE. 13

TABEL 3-2: NETTO ENERGIE OPBRENGST TIJDENS DE LEVENSCYCLUS (20 J) VAN EEN 10 MW WINDTURBINE 14

TABEL 3-3 EMISSIEFACTOREN VOOR ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN BELGIË (VMM, 2009)..... 14

Lijst van figuren

FIGURE 1-1: LCA MODEL (CLEARY ET AL., 2012) 5

1. INLEIDING

Tot nog toe werd in de milieueffectenrapportering (MER) van een windmolenpark steeds gebruik gemaakt van een life cycle assessment (LCA) voor een 3 MW turbine in ondiep water (tussen 6.5 en 13.5 m diep) en slechts op 14 km van de kust (Vestas, 2006). De commercieel beschikbare turbines worden echter steeds groter en zijn geschikt voor steeds grotere waterdieptes. De waterdiepte in het SeaStar concessiegebied, 40 km van de Belgische kust, kan oplopen tot 40 m, en in het MER worden alternatieven beschouwd tot 10 MW. Op vraag van de BMM (de Beheerseenheid van het Mathematisch model van de Noordzee en het Schelde-estuarium) werd een nieuwe studie uitgevoerd voor een 10 MW windturbine in de SeaStar concessiezone. In deze LCA worden twee alternatieven beschouwd: de jacket fundering en de gravitaire fundering.

Naast de basisconfiguratie van 41 windturbines met elk een individueel vermogen van 6,15 MW (~REpower) worden drie omhullende configuraties voorgesteld van respectievelijk 62 turbines met een individueel vermogen van 4-6,5 MW (~Areva 5 MW), 43 turbines met een individueel vermogen van 6,5-7,5 MW (~Samsung 7 MW) en 54 turbines met een individueel vermogen van 7,5-10 MW (~Vestas V164 8 MW). Voor deze LCA wordt uitgegaan een 10 MW turbine. Voor de fundering van de turbine worden twee verschillende alternatieven beschouwd, de gravitaire fundering (GBF) en de jacket fundering (JF). Het plaatsen van de turbine zal gebeuren op een afstand van 40 km voor de Belgische kust, in het SeaStar concessiegebied. De maximale diepte in de concessiezone bedraagt ca. 40 m. Bij het berekenen van de fundering zullen we uitgaan van deze maximale diepte.

In een LCA worden een aantal fase beschouwd (Figure 1-1). De productiefase omvat het verwerken van de basisgrondstoffen tot geschikte materialen voor de bouw van de windmolen, en de bouw en plaatsing van de verschillende delen van de windmolen.

De uitstoot en energieconsumptie die gepaard gaat met het transport van de onderdelen van de windmolen van de plaats van productie naar de uiteindelijke bestemming valt onder de transportfase.

Eenmaal ter plaatse dient de windmolen in elkaar gezet te worden, dit gebeurt tijdens de constructiefase. Hier is het type fundering van belang: bij gravitaire funderingen worden eerst baggerwerken uitgevoerd, terwijl bij een jacket fundering palen ingeheid moeten worden. Ook het samenstellen van de windmolen ter plaatse hoort bij deze fase.

De windmolens hebben een verwachte levensduur van ca. 20 jaar, al wordt voor sommige types gemikt op 30 jaar levensduur. Het uitbaten van de windmolens tijdens de operationele fase omvat onder andere herstellingswerkzaamheden, controle en onderhoud van de windmolens.

Voor het ontmantelen van de windmolens na 20 (of 30) jaar zijn wederom kranen nodig. De ontmantelde delen van een windmolen worden terug aan land gebracht waar ze gerecycleerd kunnen worden. De GBF kan volledig weggehaald worden, bij de JF blijven de verankeringspalen achter in de zeebodem en kunnen deze niet hergebruikt worden.

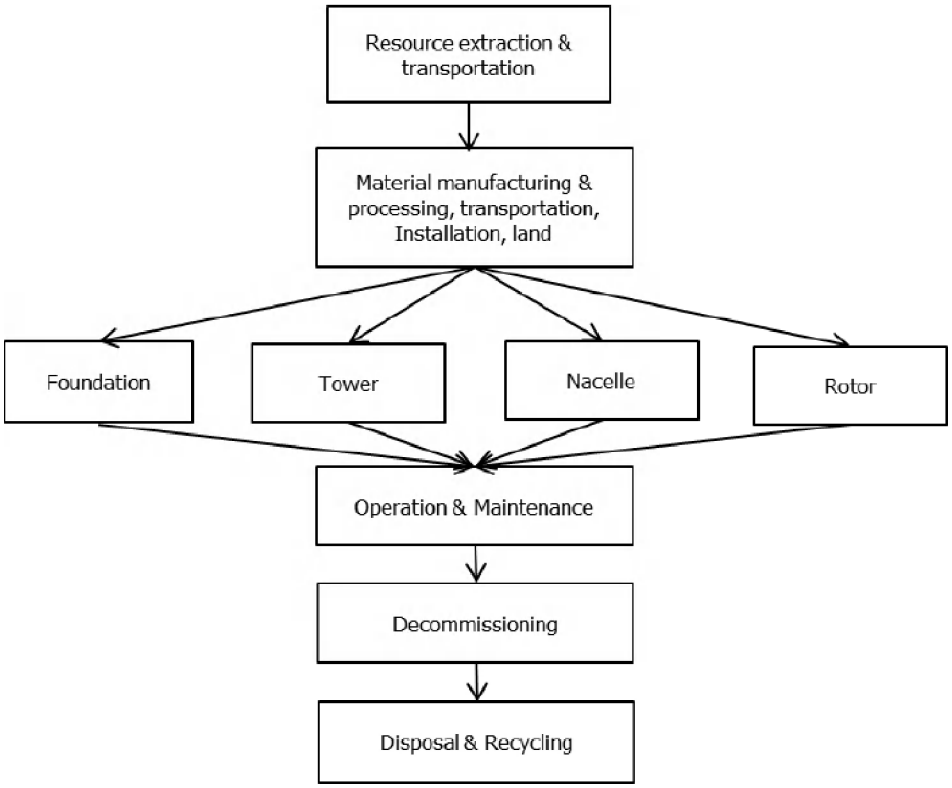


Figure 1-1: LCA model (Cleary et al., 2012)

2. LIFE CYCLE ASSESSMENT

2.1 LITERATUUR

Verschillende auteurs (oa. Borup & Andersen, 2002) stellen dat de grootste impact op het milieu afkomstig is van de productie van de materialen voor de windmolens. Ook de recyclage van de gevaarlijke en giftige componenten in de windmolen (bepaalde metaallegeringen en kunststoffen) en de kabels hebben een belangrijke invloed (Borup & Andersen, 2002) op de totale energiebalans van een windmolen. Tegenwoordig wordt veel onderzoek gedaan naar het verlengen van de leeftijd van de windmolens en het gebruik van nieuwe materialen om de turbines en de ondersteunende constructie lichter en minder duur te maken. Cleary *et al*. (2012) weegt een stalen toren af tegen een betonnen toren, waarvan de levensduur dubbel zo lang zou zijn (40j i.p.v. 20j), en om het gewicht en de impact op het milieu van de rotorbladen te beperken worden onder andere natuurlijke vezels (cellulose, vb. vlas of hennep) als basismateriaal voorgesteld (Brøndsted *et al*., 2005).

In het verleden werden reeds inschattingen gemaakt voor windmolens met een productiecapaciteit van 8, 12 en 18 MW in 2025, en voor windmolens met 15, 24 en 32 MW in 2050 (Dong, 2008). Bij de levenscyclusanalyses van dergelijke zware windturbines werd rekening gehouden met de dalende trend in de productiekost en het ontwikkelen van nieuwe technieken en materialen waardoor het gewicht van de turbines en de impact op het leefmilieu afneemt. In bovenvermelde LCA worden de turbines, de parkbekabeling, de offshore transformator, de kabels naar de kust en de aansluiting op het elektriciteitsnet in rekening gebracht. De resultaten worden weergegeven per eenheid grondstof of per kWh aan het grid geleverde elektriciteit. De resultaten hiervan zijn ter illustratie opgenomen in Bijlage A als voorbeeld.

In de LCA (Dong, 2008) werd onderscheid gemaakt tussen vier fasen:

- De productiefase: de periode van het winnen van grondstoffen tot en met de productie van de turbineonderdelen;
- De constructiefase: de bouw van het windmolenpark;
- De gebruiksfase: het gebruik en onderhoud van de windturbines gedurende een periode van 20 jaar;
- De ontmantelingfase: de ontmanteling van de windturbine.

Uit Dong (2008) bleek dat de productiefase de grootste impact heeft op het milieu en de leefomgeving. De ontmantelingfase heeft een beperktere maar niet te verwaarlozen invloed terwijl de impact tijdens het gebruik verwaarloosbaar is. De transportfase werd niet in rekening gebracht in Dong (2008) omdat dit voor elke locatie verschillend is, maar er wordt verondersteld dat deze, in vergelijking met de productie ook klein zal zijn. De uitstoot en consumptie van energie en grondstoffen per geproduceerde kWh of per eenheid materiaal is weergegeven in Bijlage A.

2.2 EEN 10 MW TURBINE IN DE SEASTAR CONSESSIEZONE

Omdat de precieze dimensies en samenstelling van een 10 MW turbine niet bekend zijn, is een groot deel van de gegevens gebaseerd op inschattingen en opschalingen van dimensies van kleinere turbines. De weinige gegevens die voor een 10 MW turbine wel beschikbaar zijn, werden afgeleid uit Clipper Windpower (2010). Daarin staat vermeld dat de toren van de 10 MW turbine door het gebruik van nieuwe, lichtere materialen een gelijkaardige massa van een 5 MW turbine zal hebben. Hierdoor kunnen we Jonkman *et al.* (2009) als referentie gebruiken voor de dimensies van de 10 MW turbine. Aanvullende gegevens werden gevonden op het internet (http://gigaom.com). Aannames en gegevens in verband met de jacket fundering zijn gebaseerd op Hammar *et al.* (2010). Aannames en gegevens van de gravitaire fundering gaan uit van het MER van het Rentel offshore windmolenpark (IMDC, 2012). De gebruikte gegevens zijn weergegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Relevante gegevens voor een Clipper Britannia 10 MW turbine in het SeaStar concessiegebied.

Lengte rotorbladen[1]	72 m
Diameter rotor[1]	150 m
Hoogte toren[2]	100 m
Massa rotorblad[1]	30 ton
Massa toren[3]	350 ton
Massa gondel[1]	500 ton
Massa transitiestuk[4]	150 ton
Massa jacket[4]	700 ton
Massa verankering jacket[5]	150 ton
Massa gravitaire fundering (bewapening)[6]	700 ton
Massa gravitaire fundering (beton)[5]	9 000 ton

[1] Gegevens overgenomen uit Windpower (2010)

[2] Gegevens van http://gigaom.com, andere bronnen, oa. http://www.4coffshore.com, spreken van 175 m maar vermoedelijk is dit met de rotor inbegrepen.

[3] Windpower (2010) geeft aan dat de massa van de toren gelijk zal zijn aan deze van een 5 MW turbine. Jonkman *et al.* (2009) definieert een standaard 5 MW turbine voor offshore gebruik.

[4] Gegevens van Hammar *et al.* (2010) voor een 5 MW turbine in een 40 m diepe zee

[5] Gegevens uit Hammar *et al.* (2010): 4 stalen verankeringpalen van 44 m lang, een diameter van 1.8 m en 60 mm dik staal; dichtheid van staal van http://www.soortelijkgewicht.com (7 800 kg/m³)

[6] Afgeleid uit de berekeningen uitgevoerd voor de oppervlakte voor harde substraten voor MER Rentel (IMDC, 2012). Soortelijk gewicht voor staal van 7 800 kg/m³; soortelijk gewicht van beton van 2 500 kg/m³. Voor de schatting van de hoeveelheid bewapeningsstaal werd een stalen koker verondersteld van ca. 2.5 cm dik, de dikte van de betonnen mantel werd op ca. 1 m geschat (bijlage B.1).

In volgende paragrafen wordt het energieverbruik en CO_2-uitstoot per fase uitgerekend. Vaak bestaat er echter een breed scala aan waarden en conversiefactoren voor de berekening van deze waarden. Voor de berekeningen werd steeds uitgegaan van een waarde welke eerder als maximale, doch geloofwaardige waarde voor de uitstoot van de CO_2 en energieverbruik kan beschouwd worden. Hierdoor wordt een mogelijke onderschatting van de impact van het windmolenpark vermeden.

2.2.1 De productiefase

Tabel 2-2: Energieverbruik en CO_2 uitstoot per ton geproduceerd materiaal (positief afgeronde waarden)

Plaatstaal[7]	4 830 kWh = 17.4 GJ
Beton[8]	311 kWh = 1,2 GJ
Carbonvezel[9]	79 450 kWh = 286 GJ
Plaatstaal[7]	920 kg CO_2
Beton[8]	176 kg CO_2
Carbonvezel[9]	22 400 kg CO_2

Om de berekeningen eenvoudig te houden, wordt verondersteld dat de gondel van de molen volledig uit staal is opgebouwd. In realiteit bestaat deze echter uit een groot aantal verschillende materialen. Ook de toren, het transitiestuk en de fundering bestaan uit staal. Bij GBF funderingen bestaat de fundering uit gewapend beton. We gaan ervan uit dat het gebruikte staal voor 59% uit gerecycleerd staal bestaat (Hammond & Jones, 2011). Voor de rotorbladen wordt verondersteld dat ze volledig uit carbonvezel zijn opgebouwd. De berekeningen voor de energieconsumptie zijn opgenomen in Bijlage B.2. Gebruikmakend van de gegevens uit Tabel 2-2, teruggevonden in de literatuur, en het gewicht van alle onderdelen kon de totale energieconsumptie tijdens de productiefase berekend worden.

- Tijdens de productiefase wordt de totale energieconsumptie geschat op ca. 16 GWh (of 57.9 TJ) voor de productie van een 10 MW windmolen op een JF.
- Voor een 10 MW windmolen op een GBF is er meer energie nodig, namelijk ca. 18 GWh (of 66.1 TJ).

De berekeningen voor de CO_2-uitstoot zijn opgenomen in Bijlage B.3. Gebruikmakend van de gegevens uit Tabel 2-2, teruggevonden in de literatuur, en het gewicht van alle onderdelen kon de totale uitstoot tijdens de productiefase berekend worden.

Ook de CO_2-uitstoot van de windmolen op een GBF ligt hoger dan deze op een JF, vooral omdat er bij de productie van beton veel CO_2 geproduceerd wordt. Bij de productie van een JF en een GBF komt respectievelijk ca. 22 000 en ca. 23 000 ton CO_2 vrij (Bijlage B.3).

[7] www.tatasteelconstruction.com/en/sustainability/carbon_and_steel/ - plaatstaal

[8] Hammond & Jones (2011) – High strength concrete (40-50 MPa compressive strength)

[9] http://www.carbonfiber.gr.jp/english/lci.pdf

2.2.2 Transportfase

We gaan ervan uit dat de turbines ergens in de buurt van Denemarken of Noord-Duitsland geproduceerd zullen worden en nemen een transportafstand van ca. 650 km aan. De transitiestukken en JF zullen hoogstwaarschijnlijk in verschillende productiefaciliteiten aangemaakt worden. Voor C-power werden de JF aangemaakt in Hoboken, en de transitiestukken in Balen (ca. 150 km). We gaan ervan uit dat de verschillende onderdelen tijdelijk in Oostende zullen opgeslagen worden op de Rebo Terminal, vooraleer ze naar de SeaStar concessiezone getransporteerd zullen worden. De afstand van Oostende tot de SeaStar concessiezone bedraagt ca. 45 km. Het transport van de productielocatie naar Oostende kan gebeuren over zee, rivieren en kanalen met een zeer diverse groep van schepen en pontons, daarnaast zullen er ook meerdere turbines, JF en transitiestukken tegelijkertijd getransporteerd worden. De JF voor het C-power windmolenpark werden met drie op een ponton vanuit Hoboken aangevoerd, het transitiestuk werd eerder al in Hoboken op de JF gemonteerd. Voor de turbines gaan we ervan uit dat er een tiental tegelijkertijd vervoerd worden. Een zeewaardige sleepboot heeft twee motoren die samen ca. 8 000 kW genereren (www.crowley.com), aan een snelheid van 7 knopen neemt het transport van een windmolen naar Oostende ca. 50 uren in beslag. Het transport van de JF duurt ca. 12 uren. Dit betekent dat er ca. 40 MWh per turbine en ca. 32 MWh per JF nodig is voor vervoer naar Oostende. Per kWh wordt ca. 284 g CO2 geproduceerd bij de verbranding van scheepsbrandstof (Defra, 2012). Voor het transport van een turbine betekent dit ca. 11 ton CO2 productie, voor het transport van een JF van de productieplaats naar Oostende ca. 9 ton.

Uit het MER voor het Rentel windmolenpark (IMDC, 2012) kan het aantal scheepsbewegingen worden afgeleid. Voor een volledig windmolenpark zal het aantal scheepsbewegingen lager liggen dan de som van de bewegingen voor elke turbine apart.

Configuratie 3 uit het MER Rentel (IMDC, 2012) bestaat uit 55 windturbines van 10 MW. Indien deze voorzien worden van een JF zijn 138 tot 162 scheepsbewegingen nodig om al het materiaal en het personeel ter plaatse te krijgen. Als de turbines voorzien worden van een GBF loopt dat aantal op tot tussen 246 en 270 bewegingen doordat er voor dit funderingstype ook voorbereidende baggerwerken uitgevoerd moeten worden (IMDC, 2012). Per windmolen zou dit betekenen dat er respectievelijk gemiddeld 3 en 5 scheepsbewegingen nodig zijn per turbine, afhankelijk van het gekozen type fundering. Transport van de GBF voor een 10 MW turbine ligt wel moeilijk, er bestaan weinig schepen die in staat zijn om dergelijke zware constructies te heffen.

Een doorsnee zelfvarend jack-up ponton, een scheepstype dat vaak gebruikt wordt bij het plaatsen van offshore windmolens, beschikt over vier motoren van elk 1600 kW, twee voorwaarts gerichte en twee achterwaarts gerichte (www.geosea.be). De snelheid van het schip bedraagt 7 knopen of ca. 13 km/u bij goed weer. Om de afstand van Oostende tot het SeaStar concessiegebied (45 km) te overbruggen zou dus ongeveer 3.30u nodig zijn. De 2 motoren van elk 1 600 kW verbruiken samen ca. 22,4 MWh voor een trip naar het SeaStar concessiegebied en terug naar de haven. Dit veroorzaakt een bijkomende CO_2-uitstoot van 284 gram CO_2/kWh (Defra, 2012), of ca. 5,5 ton CO_2 uitstoot voor de totale trip.

De totale energieconsumptie voor alle transport van één windturbine met een JF bedraagt 140 MWh. Een 10 MW turbine op een GBF vergt een totale energieconsumptie tijdens het transport van ca. 152 MWh. Respectievelijk komt er bij de voorgaande scenario's ca. 36,5 ton en 38,5 ton CO_2 vrij tijdens het transport van één windturbine.

2.2.3 Constructiefase

Het energieverbruik tijdens de constructiefase zal in hoofdzaak bestaan uit de energie die nodig is voor het heffen van de verschillende delen, de aanleg van de bekabeling en het plaatsen van de fundering. GBF-funderingen zullen meer energie vragen, aangezien hiervoor extra baggerwerken nodig zijn en er bovendien erosiebescherming aangebracht dient te worden. Het is moeilijk om het precieze energieverbruik en CO_2 uitstoot in te schatten, Vestas (2006) schat het totale energieverbruik tijdens de transport en constructiefase op 477 MWh. De voorgestelde situatie verschilt echter heel erg van deze Vestas studie (dieper water, verder van de kust, zwaardere turbines). Bovendien bestaan intussen al technieken om gehele turbines in één keer op hun fundering te plaatsen (zie o.a. Ballast Nedam Offshore, 2008). Met ander woorden, het totale energieverbruik van Vestas (2006) kan niet zomaar geëxtrapoleerd worden. Als we uitgaan van de waarden berekend voor de transportfase schatten we het totale energieverbruik tijdens de constructiefase op ca. 400 MWh voor turbines op een JF en 500 MWh voor turbines op een GBF. Tijdens de constructiefase wordt in dit geval respectievelijk ca. 114 en ca. 142 ton CO_2 vrijgesteld per geplaatste turbine, rekeninghoudend met een CO_2-uitstoot van 284 g/kWh (Defra, 2012).

2.2.4 Operationele fase

In de meeste LCA voor windmolenparken wordt aangenomen dat de energieconsumptie en CO_2-uitstoot tijdens de werking en het onderhoud van de turbines verwaarloosbaar is. In de gebruiksfase wordt rekening gehouden met het vervangen van bepaalde onderdelen, schilderen, bescherming van de fundering tegen corrosie, transport van en naar de windmolens, enz. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 20 jaar.

Voor 10 MW-turbines zullen verscheidene nieuwe technieken geïmplementeerd worden. Zo zal de transmissie in dergelijke grote windturbines niet langer door tandwielkasten uitgevoerd worden maar wordt wellicht een directe overbrenging gebruikt. Deze nieuwe technieken vergen veel minder onderhoud en zullen zowel de kosten als de energieconsumptie en uitstoot van broeikasgassen tijdens de operationele fase beperken. Daarnaast speel ook de manier waarop het personeel naar de windturbines geraakt een rol. Vervoer per helikopter verbruikt meer energie dan het vervoer per boot. Het transport van en naar de windmolenparken zal in België steeds met een boot gebeuren.

Dong (2008) verwacht dat er per jaar slechts één inspectie en één onderhoud uitgevoerd zal worden, uit ervaring met bestaande windmolenparken is geweten dat dit echter niet volstaat. Er moeten bijna dagelijks onderhoudsschepen uitvaren. Daarnaast is het nodig om dagelijks de structuur en de waarschuwingssignalen op de turbines te controleren (Larsen *et al.,* 2005). Een doorsnee windturbine zal jaarlijks 4 000 vollasturen draaien (46% van de tijd; Dong 2008), waardoor ze 80 000 vollasturen energie zal produceren op 20 jaar tijd.

Een schatting van het energieverbruik wordt gemaakt op basis van het transport dat tijdens deze fase zal gebeuren. Indien een klein schip met een gemiddelde snelheid van 22 knopen of ca. 40 km/h (www.geosea.be) en met een motor van 75 kW dagelijks gemiddeld 3 uren onderweg is levert dit een totaal jaarlijks energieverbruik van ca. 82 MWh. Op twintig jaar tijd levert dit ca. 1 640 MWh aan energieverbruik. De jaarlijkse CO_2 uitstoot bedraagt ca. 20 ton per turbine (284 gCO_2/kWh), en 400 ton per turbine over een periode van 20 jaar.

2.2.5 Ontmantelingsfase

Voor de ontmantelingfase wordt een gelijk aantal scheepsbewegingen als voor de transportfase in rekening gebracht. Daarnaast wordt ook een vergelijkbaar aantal kranen en jack-up pontons als in de constructiefase verondersteld. Net zoals bij de constructie zijn voor de afbraak van windturbines op een JF minder scheepsbewegingen vereist dan bij de afbraak van turbines op een GBF. GBF funderingen kunnen echter wel volledig verwijderd worden, bij JF zal het deel van de funderingspalen dat in de zeebodem gedreven werd, blijven zitten. Bij een JF moet het vele heien niet herhaald worden terwijl het verwijderen van de ballast uit de GBF meer energie vraagt dan het storten van die ballast. De erosiebescherming die enkel bij GBF geplaatst wordt moet nadien terug verwijderd worden en er dienen corrigerende baggerwerken uitgevoerd te worden om de put in de zeebodem terug te dichten.

De ontmantelingsfase omvat ook de recyclage en verbranding of storting van niet recycleerbare materialen. De meeste componenten kunnen makkelijk gerecycleerd worden. Gevaarlijke stoffen in de gondel kunnen problemen opleveren voor de recyclage, maar het zijn voornamelijk de rotorbladen waar zich een probleem stelt. Deze zijn opgebouwd uit carbon en de recyclage hiervan staat nog niet op punt. Onderzoek hieromtrent is echter bezig.

Ongeveer 60% van het beton afkomstig van afbraakwerken wordt gerecycleerd als aggregaat. Het gebruik van gerecycleerd beton als steenslag in nieuw beton zorgt voor een reductie van de CO_2 uitstoot van ca. 11 kg per ton geproduceerde beton (EPA, 2012). Door de recyclage van het schroot wordt een CO_2 uitstoot van ca. 1,8 ton vermeden per ton gerecycleerd staal (www.tatasteelconstruction.com).

In Vestas (2006) werd gesteld dat ca. 80% van de turbine gerecycleerd kan worden en dat er bijgevolg eerder netto energiewinst dan verbruik van energie voorkomt in deze fase. Daarnaast zal de recyclage van de gebruikte materialen de CO_2-uitstoot die tijdens de vorige fase gegenereerd werd gedeeltelijk compenseren. Om de effecten hiervan niet te overschatten, het kost ook energie om de materialen tot nieuwe grondstoffen te verwerken, wordt deze fase als energieneutraal beschouwd, we zijn er echter wel van bewust dat het algemene effect positief kan zijn. Ondermeer omdat energie wordt uitgespaard doordat geen verse erts of granulaten moeten aangevoerd en verwerkt worden. In Tabel 2-3 wordt een kwalitatieve vergelijking gemaakt van het effect van de verschillende processen van de ontmantelingsfase op de energiebalans en de CO_2-uitstoot tussen JF en GBF.

Tabel 2-3 Kwalitatieve inschatting van het effect van de verschillende processen van de ontmantelingsfase op de energieconsumptie en CO_2-productie (+ toename, - reductie, ++ sterke toename, -- sterke reductie).

Proces	JF	GBF
Invloed energieconsumptie		
Verwijderen molen	+	+
Verwijderen transitiestuk	+	+
Verwijderen fundering	+	++
Recyclage carbon	?	?
Recyclage gondel	-	-
Recyclage toren	--	--
Recyclage transitiestuk	--	--
Recyclage fundering	--	--
Invloed CO_2-productie		
Verwijderen molen	+	+
Verwijderen transitiestuk	+	+
Verwijderen fundering	+	+
Recyclage carbon	?	?
Recyclage gondel	-	-
Recyclage toren	--	--
Recyclage transitiestuk	--	--
Recyclage fundering	--	-

3. CONCLUSIE

De totale energieconsumptie voor het plaatsen van één windmolen is in belangrijke mate afhankelijk van de soort fundering dat gebruikt zal worden. Algemeen vraagt een turbine op een JF minder energie dan een turbine op een GBF. Er wordt ongeveer 18 GWh aan energie verbruikt voor de productie, transport, constructie en uitbating van een turbine op een JF, bij een turbine op een GBF bedraagt dit bijna 21 GWh (Tabel 3-1). Zoals eerder gezegd wordt de ontmantelingsfase als energieneutraal beschouwd doordat energie gerecupereerd kan worden door het recycleren van materialen.

De productiefase levert de belangrijkste bijdrage aan de totale CO_2-uitstoot tijdens de levenscyclus van een windturbine. Ook hier speelt het type fundering een niet te verwaarlozen rol, bij de productie van een GBF wordt ongeveer 8 000 ton meer CO_2 uitgestoten dan bij de productie van een JF (Tabel 3-1). De totale CO_2-productie tijdens de levenscyclus van een 10 MW windmolen draait rond de 22 000 ton voor een turbine op een JF en bedraagt bijna 24 000 ton voor een turbine op een GBF (Tabel 3-1).

Tabel 3-1: Energieconsumptie en CO_2-uitstoot tijdens de levenscyclus van een 10 MW windturbine.

Fase	Energieconsumptie (kWh)		CO2-uitstoot (ton)	
	JF	GBF	JF	GBF
Productiefase	16 090 000	18 360 000	21 862	23 308
Transportfase	140 000	152 000	36,5	38,5
Constructiefase	400 000	500 000	114	142
Operationele fase	1 640 000	1 640 000	400	400
Ontmantelingsfase	0	0	0	0
Totaal	**18 270 000**	**20 652 000**	**22 412,5**	**23 888,5**

Als we veronderstellen dat een windmolen 4 000 vollasturen per jaar energie produceert, en een levensduur van 20 jaar heeft zal die molen 80 000 vollasturen gewerkt hebben tijdens zijn leven. Voor een 10 MW turbine betekent dit dat er ongeveer 800 GWh elektriciteit geproduceerd wordt. Aangezien er ca. 18 GWh of 21 GWh, respectievelijk bij een JF en een GBF (Tabel 3-1), nodig is tijdens de levenscyclus van een 10 MW windmolen, zal die molen netto ruim 782 of 779 GWh energie opbrengen. Voor een molen met een JF betekent dit een terugverdientijd van ca. 5 maanden en 14 dagen. Bij een molen met een GBF is de periode iets langer, hier bedraagt ze 6 maanden en 12 dagen.

Tabel 3-2: Netto energie opbrengst tijdens de levenscyclus (20 j) van een 10 MW windturbine

	Energieopbrengst	- energieverbruik	= netto opbrengst
JF	800 GWh	- 18 GWh	= 782 GWh
GBF	800 GWh	- 21 GWh	= 779 GWh

Om een gelijkaardige hoeveelheid energie op te wekken met de traditionele Belgische energiemix (kernenergie, kolen- en gasgestookte centrales) wordt er ca. 313 600 ton CO_2 uitgestoten. Met een mogelijke kernuitstap in het verschiet zou dit nog kunnen stijgen tot ca. 576 000 ton CO_2. Hiervoor baseren we ons op de emissiefactoren aangeleverd door het VMM (2009; Tabel 3-3). Tijdens de levenscyclus van een 10 MW offshore windturbine op een JF wordt ca. 22 400 ton CO_2 geproduceerd (Tabel 3-1), bij een molen op een GBF bedraagt dit ca. 23 900 ton CO_2. In vergelijking met de traditionele energiemix produceert een dergelijke windturbine respectievelijk 291 200 en 289 700 ton CO_2 minder voor de productie van een gelijke hoeveelheid elektriciteit. Als kernenergie niet in rekening wordt gebracht dan bedraagt het verschil ten opzichte van een windturbine op JF of GBF respectievelijk 556 600 ton en 555 100 ton CO_2. In Clipper Windpower (2010) wordt gesproken van 724 000 ton CO_2 die niet uitgestoten zou worden in vergelijking met traditionele elektriciteitsproductie. Er werd echter niet vermeld met welke periode (30 jaar?) en met welke emissiefactor hierbij rekening gehouden werd.

Tabel 3-3 Emissiefactoren voor elektriciteitsproductie in België (VMM, 2009)

	Klassieke productie	Klassieke en nucleaire productie
CO_2 (ton/GWh)	720	392
SO_2 (ton/GWh)	0,712	0,388
NO_x (ton/GWh)	0,728	0,397

4. REFERENTIELIJST

4.1 PUBLICATIES

Ballast Nedam Offshore (2008). HLV Svanen. Factsheet of the Heavy Lifting Vessel Svanen. 8p.

Borup M. & Andersen P.D. (2002). Recycling and removal of offshore wind turbines – an interactive method for reduction of negative environmental effects. Paper presented at the Global Windpower Conference and Exhibition, Paris, April 2002. European Wind Energy Association (EWEA, Brussels). 6p.

Brøndsted P., Lilholt, H., Lystrup A. (2005). Composite Materials for Wind Power Turbine Blades. Annual Review of Material Recources 35. 505-538.

Cleary, B., Duffy, A., O'Connor, A. (2012). Using life cycle assessment to compare wind energy infrastructure. International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, 10 - 12 July 2012, Nantes, France. 11p.

Clipper Windpower (2010). Windpower engineering, Breaking the 9-MW barrier. Windpower Engineering & Development, Mei 2010 (Ed. Dvorak P.). p. 36-43.

Defra (2012). DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting. 16 p.

Dong energy, Vattenfall, Danish Energy Authority & Danish Forest and Nature Agency (2008). RS 1a: Life cycle approaches to assess emerging energy technologies. Final report on Offshore wind technology. NEEDS - New Energy Externalities developments for Sustainability. 60p.

EPA (2012). Warm Version 12 – Concrete. 7p.

Hammar L., Andersson S., Rosenberg R. (2010). Report 6367. Adapting offshore wind power foundations tot local environment. Vindval, Swedish Environmental Protection Agency. 86 p.

Hammond, G. & Jones, C. (2011). Inventory of Carbon and Energy (ICE) Version 2.0. Sustainable Energy Research Team, University of Bath, United Kingdom. 8p.

IMDC (2012). MER Rentel, Milieueffectenrapportering windturbinepark Rentel. I.o.v. Rentel NV. I/RA/11397/11.188/RDS. 688p.

Jonckman J., Butterfield S., Musial W., Scott G. (2009). Definition of a 5-MW Reference Wind turbine for Offshore System Development. Technical report NREL/TP-500-38060. U.S. Departement of Energy. Golden, Colorado. 63p.

Larsen, J.H.M., H.C. Soerensen, E. Christiansen, S. Naef, and P. Vølund. (2005). Experiences from Middelgrunden 40 MW offshore wind farm. Copenhagen Offshore Wind Conference. October 26–28, 2005. 8p.

Struble, L., & Godfrey, J. (2004). How sustainable is concrete? International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Beijing, China, mei 2004. Notulen gepubliceerd door Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, Iowa. 201-211.

Vestas Wind Systems (2006). Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines. 60p.

VMM (2009). Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest – Jaarverslag Emmissiemeetnetten, Kalenderjaar 2008. Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Lucht, Milieu en Communicatie, Dienst Lucht, Erembodegem. 162p.

4.2 WEBSITES:

http://www.4coffshore.com/windfarms/turbine-clipper-britannia-tid10.html. Geraadpleegd op 3/12/2012

http://gigaom.com/cleantech/clipper-wind-sells-gigantic-turbine/. Geraadpleegd op 3/12/2012

http://www.soortelijkgewicht.com/vaste-stoffen/beton. Geraadpleegd op 3/12/2012

http://www.soortelijkgewicht.com/vaste-stoffen/staal. Geraadpleegd op 3/12/2012

http://www.carbonfiber.gr.jp/english/lci.pdf. Geraadpleegd op 3/12/2012

http://www.geosea.be/EN/Equipment_post.html?postId=71. Geraadpleegd op 27/02/2013

http://www.crowley.com/What-We-Do/Solutions/Ocean-Towing. Geraadpleegd op 27/02/2013

http://www.tatasteelconstruction.com/en/sustainability/carbon_and_steel/. Geraadpleegd op 27/02/2013

Bijlage A Voorbeeld LCA (Dong, 2008)

A.1 Huidige en toekomstige windturbines

	2005	2025	2050
Size	2 MW	12 MW	24 MW
Hub height	60 m	140 m	160
Rotor diameter	80 m	160 m	250
Water depth	10 – 30 m	20 –60 m	>100 m

Bijlage-Figuur 1: Huidige en toekomstige windturbines naar het optimistisch realistische scenario van Dong (2008).

A.2 LCA offshore windturbine 2005

Parameter	Unit	2005	
		Turbine	Farm
Size	MW_{el}	2	80x2=160
Hub height	m	60	
Rotor diameter	m	80	
Water depth	m	10 – 13	
Foundation type		Monopile	
Electrical efficiency	%	100	
Lifetime for turbines	a	20	
Lifetime for transmission	a	40	
Electricity production	kWh_{el}/a	8.088E+06	6.47E+08
Full load hours	h/a	4044	
Main data sources		Elsam Engineering 2004: Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind farms (Elsam A/S, Energinet.dk, Vestas A/S and Nexans)	

Bijlage-Figuur 2: Relevante data voor de situatie in 2005 (Dong, 2008)

Component	Material or service	Unit	Amount
Tower			1
	steel, electricity, un- and low-alloyed, at plant	kg	1.50E+5
	aluminium, production mix, at plant	kg	2.00E+0
	copper, at regional storage	kg	1.12E+2
	welding, arc, steel	m	2.30E+i
	powder coating, steel	m2	1.15E+3
	polyvinylchloride, at regional storage	kg	3.80E+i
	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	kg	1.18E+3
	steel, low-alloyed, at plant	kg	4.00E+0
	electricity mix	kWh	3.35E+4
	transport, passenger car	pkm	1.60E+2
	transport, lorry 32t	tkm	1.20E+4
	transport, barge	tkm	6.00E+3
	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	MJ	1.09E+5
Blades		Unit	1
	glass fibre, at plant	kg	5.75E+3
	epoxy resin, liquid, at plant	kg	2.09E+3
	polyvinylchloride, at regional storage	kg	2.23E+2
	aluminium, production mix, at plant	kg	4.34E+i
	synthetic rubber, at plant	kg	1.02E+0
	nylon 66, at plant	kg	6.06E-I
	steel, low-alloyed, at plant	kg	7.80E+0
	cast iron, at plant	kg	4.31E+1
	copper, at regional storage	kg	2.20E+0
	transport, lorry 32t	tkm	2.93E+2
	transport, barge	tkm	1.47E+2
	transport, passenger car	pkm	5.33E+i
Nacelle		Unit	1
	steel, low-alloyed, at plant	kg	13128
	cast iron, at plant	kg	16855
	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant	kg	4
	polyvinylchloride, at regional storage	kg	122
	epoxy resin, liquid, at plant	kg	633
	glass fibre, at plant	kg	1872.1
	zinc coating, pieces	m2	0.046
	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	MJ	11179
	synthetic rubber, at plant	kg	412
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	kg	948.7
	nylon 66, at plant	kg	2.2
	polycarbonate, at plant	kg	1
	lubricating oil, at plant	kg	617
	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	kg	24
	electricity mix	kWh	79425
	transport, barge	tkm	2235
	transport, lorry 32t	tkm	25282

Bijlage-Figuur 3: Materialen en energie nodig voor de productie van een offshore windmolenpark en de bekabeling ervan in 2005 (Dong, 2008)

Component	Material or service	Unit	Amount
Foundation		**Unit**	**1**
	reinforcing steel, at plant	kg	202200
	aluminium, production mix, at plant	kg	1550
	powder coating, steel	m2	75
	copper, at regional storage	kg	45
	lead, at regional storage	kg	1.661
	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	kg	333
	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	MJ	16745.6
	electricity mix	kWh	33580
	transport, barge	tkm	210000
	tap water, at user	kg	27460
Marine cable, 32 kV		**km**	**1**
	lead, at regional storage	kg	7298.7
	copper, at regional storage	kg	5775.7
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	kg	838.5
	steel, low-alloyed, at plant	kg	5072.3
	transport, barge	tkm	28473
	transport, lorry 32t	tkm	23006.2
Offshore transformer st.		**Unit**	**1**
	reinforcing steel, at plant	kg	812700
	steel, low-alloyed, at plant	kg	8000
	aluminium, production mix, at plant	kg	66300
	concrete, normal, at plant	m3	150000
	reinforcing steel, at plant	kg	360000
	zinc coating, pieces	m2	700
	copper, at regional storage	kg	26315
	cast iron, at plant	kg	68000
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	kg	330
	epoxy resin, liquid, at plant	kg	0.05
	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	kg	150
	transport, barge	tkm	984000
	sulphur hexafluoride, liquid, at plant	kg	200
	lubricating oil, at plant	kg	43000
	rock wool, at plant	kg	500
Marine cable, 150 kV		**km**	**1**
	copper, at regional storage	kg	18520
	electricity mix	kWh	22150
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	kg	10440
	zinc coating, pieces	m2	546.1
	reinforcing steel, at plant	kg	17910
	lead, at regional storage	kg	19630
	transport, lorry 32t	tkm	3683
Cable station		**Unit**	**1**
	copper, at regional storage	kg	24500
	aluminium, production mix, at plant	kg	600
	zinc coating, pieces	m2	400
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	kg	2500
	ceramic tiles, at regional storage	kg	2500
	sulphur hexafluoride, liquid, at plant	kg	57
	transport, lorry 32t	tkm	207000
	cast iron, at plant	kg	63000
	lubricating oil, at plant	kg	28500

Bijlage-Figuur 3 (vervolg)

Component	Material or service	Unit	Amount
	transport, barge	tkm	3
	steel, low-alloyed, at plant	kg	18000
Operation		Unit	1
	transport, helicopter	h	80
	steel, low-alloyed, at plant	kg	3150
	lubricating oil, at plant	kg	617
	transport, lorry 32t	tkm	6233.34
	transport, barge	tkm	1.2
	electricity mix	kWh	41547.3
	electricity mix	kWh	57362.7
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	kg	617

Bijlage-Figuur 3 (vervolg)

Parameter	Path	Unit	Dataset (Current technology)				
			Total kWh	Manufacturing	Operation	Fuel	Disposal
Resources							
Coal, brown, in ground	resource	kg	5.04E-04	4.92E-04	6.51E-06	0	4.81E-06
Coal, hard, unspecified, in ground	resource	kg	1.94E-03	1.84E-03	9.23E-05	0	7.61E-06
Gas, natural, in ground	resource	Nm^3	6.61E-04	6.33E-04	2.24E-05	0	5.62E-06
Oil, crude, in ground	resource	kg	6.00E-04	5.11E-04	3.23E-05	0	5.68E-05
Uranium, in ground	resource	kg	3.00E-08	2.91E-08	5.61E-10	0	3.41E-10
Fresh water (lake, river, ground water)	resource	m^3	7.92E-05	7.68E-05	1.23E-06	0	1.18E-06
Occupation, agricultural and forestry area	resource	m^2a	2.16E-04	2.07E-04	7.23E-06	0	1.05E-06
Occupation, built up area incl. mineral extraction and dump sites	resource	m^2a	1.40E-04	1.32E-04	2.29E-06	0	5.59E-06
Emissions to air							
Ammonia	air	kg	5.31E-07	5.17E-07	7.92E-09	0	6.34E-09
Arsenic	air	kg	1.17E-08	1.17E-08	1.39E-11	0	8.57E-12
Benzene	air	kg	3.91E-08	3.49E-08	1.05E-09	0	3.21E-09
Benzo(a)pyrene	air	kg	1.22E-10	1.20E-10	1.34E-12	0	7.22E-13
Cadmium	air	kg	4.44E-09	4.43E-09	3.81E-12	0	8.11E-12
Carbon dioxide, fossil	air	kg	7.64E-03	6.19E-03	2.77E-04	0	1.18E-03
Carbon monoxide, fossil	air	kg	5.15E-05	5.04E-05	5.84E-07	0	5.29E-07
Carbon-14	air	kBq	5.14E-05	4.98E-05	9.51E-07	0	6.15E-07
Chromium	air	kg	9.88E-09	9.15E-09	6.78E-10	0	4.44E-11
Chromium VI	air	kg	1.69E-10	1.52E-10	1.61E-11	0	8.00E-13
Dinitrogen monoxide	air	kg	1.92E-07	1.73E-07	8.22E-09	0	1.07E-08
Formaldehyde	air	kg	6.51E-09	6.16E-09	2.93E-10	0	5.62E-11
Iodine-129	air	kBq	5.04E-08	4.89E-08	9.68E-10	0	5.63E-10
Lead	air	kg	3.15E-07	3.08E-07	5.22E-09	0	2.38E-09

Bijlage-Figuur 4: Minimale luchtvervuiling per kWh elektriciteit geleverd aan het grid in 2005.

Parameter	Path	Unit	Dataset (Current technology)				
			Total kWh	Manufacturing	Operation	Fuel	Disposal
Methane, fossil	air	kg	1.69E-05	1.59E-05	8.20E-07	0	1.80E-07
Mercury	air	kg	3.96E-09	3.93E-09	2.11E-11	0	8.39E-12
Nickel	air	kg	2.10E-08	2.08E-08	1.38E-10	0	6.65E-11
Nitrogen oxides	air	kg	2.17E-05	1.93E-05	4.50E-07	0	1.87E-06
NMVOC	air	kg	4.04E-06	3.63E-06	1.16E-07	0	2.94E-07
PAH	air	kg	2.72E-09	2.67E-09	2.52E-11	0	1.63E-11
PM2.5	air	kg	3.58E-06	3.42E-06	6.75E-08	0	9.28E-08
PM10	air	kg	1.05E-05	1.03E-05	1.48E-07	0	1.30E-07
PCDD/F (measured as I-TEQ)	air	kg	2.26E-14	1.98E-14	1.77E-16	0	2.56E-15
Radon-222	air	kBq	9.34E-01	9.04E-01	1.82E-02	0	1.09E-02
Sulphur dioxide	air	kg	2.26E-05	2.15E-05	7.82E-07	0	3.05E-07
Emissions to water							
Ammonium, ion	water	kg	3.14E-08	2.93E-08	1.55E-09	0	4.77E-10
Arsenic, ion	water	kg	2.26E-08	2.16E-08	2.22E-10	0	6.83E-10
Cadmium, ion	water	kg	1.33E-08	1.30E-08	1.42E-10	0	1.61E-10
Carbon-14	water	kBq	1.96E-05	1.90E-05	3.77E-07	0	2.20E-07
Cesium-137	water	kBq	9.43E-06	9.14E-06	1.81E-07	0	1.06E-07
Chromium, ion	water	kg	2.40E-09	2.33E-09	3.29E-11	0	3.95E-11
Chromium VI	water	kg	5.44E-07	5.39E-07	3.28E-09	0	1.52E-09
COD	water	kg	4.10E-05	3.27E-05	7.89E-07	0	7.55E-06
Copper, ion	water	kg	3.21E-07	3.07E-07	2.97E-09	0	1.13E-08
Lead	water	kg	4.75E-07	4.42E-07	2.91E-08	0	4.13E-09
Mercury	water	kg	1.96E-09	1.93E-09	2.05E-11	0	6.55E-12
Nickel, ion	water	kg	4.28E-07	4.20E-07	7.35E-09	0	1.31E-09
Nitrate	water	kg	1.09E-06	1.06E-06	8.43E-09	0	2.47E-08
Oils, unspecified	water	kg	3.17E-06	2.79E-06	1.51E-07	0	2.28E-07
PAH	water	kg	4.09E-10	3.52E-10	3.61E-11	0	2.08E-11
Phosphate	water	kg	1.25E-06	1.23E-06	1.57E-08	0	6.98E-09
Ammonium, ion	water	kg	3.14E-08	2.93E-08	1.55E-09	0	4.77E-10

Bijlage-Figuur 4 (vervolg)

Parameter	Path	Unit	Dataset (Current technology)				
			Total kWh	Manufacturing	Operation	Fuel	Disposal
Emissions to Soil							
Arsenic	soil	kg	1.58E-11	1.47E-11	5.14E-13	0	6.29E-13
Cadmium	soil	kg	1.52E-11	1.34E-11	3.09E-13	0	1.47E-12
Chromium	soil	kg	8.89E-10	8.42E-10	1.48E-11	0	3.15E-11
Chromium VI	soil	kg	6.07E-10	5.92E-10	5.49E-12	0	8.87E-12
Lead	soil	kg	1.08E-10	9.91E-11	1.78E-12	0	7.65E-12
Mercury	soil	kg	6.62E-13	6.52E-13	7.09E-15	0	2.64E-15
Oils, unspecified	soil	kg	2.13E-06	1.75E-06	1.46E-07	0	2.34E-07

Bijlage-Figuur 4 (vervolg)

Parameter	Path	Unit	Current offshore wind farm			
			Total	Manufacturing	Operation	Disposal
Carbon dioxide, fossil	air	kg	7,64E-03	6,19E-03	2,77E-04	1,18E-03
Methane, fossil	air	kg	1,69E-05	1,59E-05	8,2=E-07	1,80E-07
Nitrogen oxides	air	kg	2,17E-05	1,93E-05	4,5E-07	1,87E-06
NMVOC	air	kg	4,04E-06	3,63E-06	1,16E-07	2,94E-07
Sulphur dioxide	air	kg	2,26E-05	2,15E-05	7,82E-07	3,05E-07
PM2,5	air	kg	3,58E-06	3,42E-06	6,75E-08	9,28E-08
PM10	air	kg	1,05E-05	1,03E-05	1,48E-07	1,30E-07
Occupation, agricultural and forestry area	re-source	m^2a	2,16E-04	2,07E-04	7,23E-06	105E-06
Occupation, built up area incl. mineral extraction and dump sites	re-source	m^2a	1,40E-04	1,32E-04	2,29E-06	5,59E-06

Bijlage-Figuur 5: Voornaamste impact op het leefmilieu is geconcentreerd tijdens de productie en constructie van de windturbine, de ontmanteling en recyclage van de turbine bezit een meer bescheiden bijdrage aan de totale impact (Dong, 2008).

A.3 LCA offshore windturbine 2025 (3 scenario's)

Future technology	*Size of turbine* [MW]	*Number of turbines*	*Production/a* [GWh]	*Net loss/a* [GWh]
2025 – pessimistic	8	94	3158	63
2025 – optimistic realistic	12	89	4486	90
2025 – very optimistic	18	74	5594	112
2050 – pessimistic	15	96	6048	121
2050 – optimistic realistic	24	81	8165	163
2050 – very optimistic	32	78	10483	210

Bijlage-Figuur 6: Capaciteit van de toekomstige windmolens in 2025 en 2050, volgens een pessimistisch scenario, een optimistisch, realistisch en een zeer optimistisch scenario (Dong, 2008).

Future offshore wind technology	2025-pessimistic	2025-optimistic realistic	2025-very optimistic	2050-pessimistic	2050-optimistic realistic	2050-very optimistic
Size (MW)	8	12	18	15	24	32
Hub height (m)	110	130	140	140	150	160
Rotor diameter (m)	130	160	225	225	250	280
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Rotor						
Glass fibre	6.26E+04	7.68E+04	9.45E+04	9.45E+04	0.00E+00	0,00E+00
Carbon fibre	0.00E+00	0.00E+00	4.72E+04	4.72E+04	1.20E+05	1,51E+05
Hempfibre	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.02E+04	7,56E+04
Epoxy resin	2.27E+04	2.79E+04	5.53E+04	5.53E+04	6.84E+04	8,58E+04
Polyvenyl	2.43E+03	2.98E+03	5.91E+03	5.91E+03	7.31E+03	9,17E+03
Aluminium	4.73E+02	5.80E+02	1.15E+03	1.15E+03	1.42E+03	1,79E+03
Rubber	1.11E+01	1.36E+01	2.69E+01	2.69E+01	3.33E+01	4,18E+01
Nylon	6.60E+00	8.09E+00	1.61E+01	1.61E+01	1.99E+01	2,49E+01
Steel	8.50E+01	1.04E+02	2.07E+02	2.07E+02	2.56E+02	3,21E+02
Cast iron	1.76E+04	2.16E+04	4.29E+04	4.29E+04	5.30E+04	6,65E+04
Copper	2.40E+01	2.94E+01	5.83E+01	5.83E+01	7.21E+01	9,04E+01
Total	1.06E+05	1.30E+05	2.47E+05	2.47E+05	3.11E+05	3,90E+05
Tower						
			7.97E+06	7.97E+06		
Steel, electr., un- and low-alloyed	3.34E+05	5.03E+05	7.97E+05	7.97E+05	1.22E+06	1.53E+06
Concrete	0.00E+00	0.00E+00	7.17E+06	7.17E+06	0.00E+00	0,00E+00
Aluminium	4.46E+00	6.70E+00	1.06E+02	1.06E+02	1.62E+01	2,04E+01
Copper	2.50E+02	3.75E+02	5.95E+03	5.95E+03	9.09E+02	1,14E+03
Welding, arc, steel	5.13E+01	7.71E+01	1.22E+03	1.22E+03	1.87E+02	2.34E+02
Powder coating, steel	2.56E+03	3.84E+03	6.09E+04	6.09E+04	9.31E+03	1.17E+04
Polyvenyl	8.47E+01	1.27E+02	2.02E+03	2.02E+03	3.09E+02	3,87E+02
Alkylresin	2.63E+03	3.95E+03	6.27E+04	6.27E+04	9.58E+03	1,20E+04
Steel, low, alkylde	8.92E+00	1.34E+01	2.13E+02	2.13E+02	3.25E+01	4.07E+01
Total	3.40E+05	5.11E+05	8.10E+06	8.10E+06	1.24E+06	1,55E+06
Electricity	7.47E+04	1.12E+05	1.78E+06	1.78E+06	2.72E+05	3,41E+05
Heat	2.42E+05	3.64E+05	5.77E+06	5.77E+06	8.82E+05	1,11E+06
Nacelle						
Reinforced steel	6.99E+04	1.07E+05	2.13E+05	2.13E+05	2.64E+05	3,32E+05
Aluminium	2.24E+03	3.42E+03	6.82E+03	6.82E+03	8.45E+03	1,06E+04
Steel, low-alloyed	3.38E+04	5.17E+04	1.03E+05	1.03E+05	1.28E+05	1.61E+05
Cast iron	4.32E+04	6.60E+04	1.32E+05	1.32E+05	1.63E+05	2,05E+05
ABS	1.03E+01	1.57E+01	3.13E+01	3.13E+01	3.87E+01	4,86E+01
Polyvenyl	3.13E+02	4.78E+02	9.54E+02	9.54E+02	1.18E+03	1,48E+03

Bijlage-Figuur 7: Materialen en energie nodig voor de productie van een offshore windmolenpark en de bekabeling ervan in 2025 en 2050 voor de verschillende scenario's (Dong, 2008)

Epoxy resin	1.62E+03	2.48E+03	4.95E+03	4.95E+03	6.13E+03	7,70E+03
Glass fibre	4.80E+03	7.33E+03	1.46E+04	1.46E+04	1.81E+04	2,28E+04
Zinc	1.18E-01	1.80E-01	3.60E-01	3.60E-01	4.45E-01	5,59E-01
Synthetic rubber	1.06E+03	1.61E+03	3.22E+03	3.22E+03	3.99E+03	5,01E+03
Polyethonel,HDPE	2.43E+03	3.72E+03	7.42E+03	7.42E+03	9.18E+03	1.15E+04
Nylon 66	5.64E+00	8.62E+00	1.72E+01	1.72E+01	2.13E+01	2,68E+01
Polycarbonate	2.56E+00	3.92E+00	7.82E+00	7.82E+00	9.68E+00	1,22E+01
Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	3.59E+01	5.48E+01	1.09E+02	1.09E+02	1.36E+02	1.70E+02
Oil for gear box	1.58E+03	2.42E+03	4.82E+03	4.82E+03	5.97E+03	7,50E+03
Total	**1.61E+05**	**2.46E+05**	**4.91E+05**	**4.91E+05**	**6.08E+05**	**7,64E+05**
Heat	2.86E+04	4.38E+04	8.74E+04	8.74E+04	1.08E+05	1,36E+05
Electricity	3.62E+04	5.53E+04	1.10E+05	1.10E+05	1.37E+05	1,72E+05
Foundation						
Steel, electr., un- and low-alloyed	3.96E+05	5.94E+05	2.38E+05	2.38E+05	9.91E+05	1.49E+06
Concrete	0.00E+00	0.00E+00	4.52E+06	4.52E+06	0.00E+00	0,00E+00
Aluminium	3.03E+03	4.54E+03	6.05E+04	6.05E+04	7.57E+03	1,14E+04
Copper	8.79E+01	1.32E+02	1.76E+03	1.76E+03	2.20E+02	3,30E+02
Lead	3.24E+00	4.87E+00	6.49E+01	6.49E+01	8.11E+00	1,22E+01
Alklyn	6.50E+02	9.75E+02	1.30E+04	1.30E+04	1.63E+03	2,44E+03
Total	**4.00E+05**	**6.00E+05**	**4.83E+06**	**4.83E+06**	**1.00E+06**	**1,50E+06**
Heat	3.27E+04	4.91E+04	3.95E+05	3.95E+05	8.18E+04	1,23E+05
Electricity	6.55E+04	9.83E+04	7.91E+05	7.91E+05	1.64E+05	2,46E+05

Bijlage-Figuur 8: (vervolg)

		Unit	Ref. tech.	2025			2050		
Production									
	Size	MW	2	8	12	18	15	24	32
	Full load hours	h/a	4044	4200	4200	4200	4200	4200	4200
Nacelle									
	Weight	t	64	161	246	491	491	608	764
	Material								
	Steel	%	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	
	Cast iron	%	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	
Rotor									
	Diameter	m	80	130	160	225	225	250	280
	Weight	t	38	106	130	258	258	319	400
	Material								
	Glass fiber/epoxy	%	70.5	70.5	70.5	50	50	0	0
	Carbon fiber	%				50	50	75	25
	Natural fibre							25	75
Tower									
	Height	m	60	110	130	140	140	150	160
	Weight	t	140	340	511	8100	8100	8679	1552
	Material								
	Steel	%		100	100	10	10	100	100
	Concrete	%	0	0	0	90	90	0	0
Foundation				Monopil	Monopil	Gravitation	Gravitation	Guyed	Floating
	Water depth	m	13						
	Weight	t	203	400	600	8000	8000	1000	1500
	Material								
	Steel	%	99	99	99	3	3	100	100
	Concrete	%	0	0		57	57		
	Stone ballast	%	0	0		40	40		

Bijlage-Figuur 9: Relevante data voor toekomstige offshore windturbines voor de verschillende scenario's. (Dong, 2008)

Parameter	Path	Unit	*2025 Pessimistic*	*2025 Optimistic realistic*	*2025 Very Optimistic*	*2050 Pessimistic*	*2050 Optimistic realistic*	*2050 Very Optimistic*
					KWh			
Resources								
Coal, brown, in ground	resource	kg	2.64E-04	2.83E-04	3.78E-04	4.60E-04	3.80E-04	4.17E-04
Coal, hard, unspecified, in ground	resource	kg	9.62E-04	9.88E-04	1.26E-03	1.50E-03	1.04E-03	1.16E-03
Gas, natural, in ground	resource	Nm^3	3.18E-04	3.81E-04	7.19E-04	8.65E-04	4.62E-04	4.92E-04
Oil, crude, in ground	resource	kg	2.69E-04	2.80E-04	6.00E-04	7.33E-04	3.55E-04	3.93E-04
Uranium, in ground	resource	kg	1.46E-08	1.58E-08	2.34E-08	2.84E-08	2.28E-08	2.34E-08
Freshwater (lake, river, groundwater)	resource	m^3	3.03E-05	3.25E-05	5.05E-05	6.14E-05	4.29E-05	4.83E-05
Occupation, agricultural and forestry area	resource	m^2a	1.06E-04	1.05E-04	2.60E-04	3.14E-04	1.50E-04	1.61E-04
Emissions to air								
Ammonia	air	kg	2.91E-07	2.90E-07	5.51E-07	6.90E-07	5.82E-07	7.56E-07
Arsenic	air	kg	7.37E-09	8.19E-09	1.42E-08	1.81E-08	1.90E-08	2.51E-08
Cadmium	air	kg	2.80E-09	3.06E-09	5.34E-09	6.81E-09	7.20E-09	9.57E-09
Carbon dioxide, fossil	air	kg	2.69E-03	2.89E-03	5.60E-03	6.75E-03	3.41E-03	3.73E-03
Carbon monoxide, fossil	air	kg	2.67E-05	2.73E-05	2.19E-05	2.64E-05	2.88E-05	3.09E-05
Carbon-14	air	kBq	2.50E-05	2.64E-05	3.90E-05	4.74E-05	3.78E-05	3.89E-05
Chromium	air	kg	5.42E-09	5.48E-09	7.68E-09	9.43E-09	8.30E-09	9.45E-09
Chromium VI	air	kg	9.57E-11	9.66E-11	1.57E-10	1.93E-10	1.61E-10	1.87E-10
Dinitrogen monoxide	air	kg	9.67E-08	1.06E-07	3.05E-07	3.69E-07	1.38E-07	1.54E-07
Iodine-129	air	kBq	2.52E-08	2.66E-08	3.84E-08	4.66E-08	3.81E-08	3.91E-08
Lead	air	kg	4.25E-08	4.19E-08	7.24E-08	9.34E-08	1.06E-07	1.44E-07
Methane, fossil	air	kg	7.91E-06	8.69E-06	1.36E-05	1.62E-05	9.61E-06	1.05E-05
Mercury	air	kg	2.09E-09	2.14E-09	2.09E-09	2.51E-09	2.49E-09	2.50E-09
Nickel	air	kg	1.43E-08	1.42E-08	2.53E-08	3.24E-08	3.43E-08	4.63E-08

Bijlage-Figuur 10: Minimale luchtvervuiling per kWh elektriciteit geleverd aan het grid in 2025 en 2050 naargelang de verschillende scenario's (Dong, 2008).

Parameter	Path	Unit	2025 Pessimistic	2025 Optimistic realistic	2025 Very Optimistic	2050 Pessimistic	2050 Optimistic realistic	2050 Very Optimistic
					KWh			
Nitrogen oxides	air	kg	9.47E-06	1.03E-05	1.97E-05	2.41E-05	1.35E-05	1.50E-05
NMVOC total	air	kg	2.36E-06	2.50E-06	4.41E-06	5.39E-06	3.28E-06	3.68E-06
PAH	air	kg	1.48E-09	1.52E-09	3.82E-09	4.57E-09	1.64E-09	1.71E-09
PM10	air	kg	5.57E-06	5.83E-06	7.24E-06	8.87E-06	7.85E-06	8.99E-06
PM2.5	air	kg	1.90E-06	1.99E-06	2.93E-06	3.61E-06	3.06E-06	3.56E-06
PCDD/F (measured as I-TEQ)	air	kg	1.02E-14	1.04E-14	1.03E-14	1.25E-14	1.26E-14	1.37E-14
Radon-222	air	kBq	4.57E-01	4.83E-01	7.14E-01	8.68E-01	6.93E-01	7.10E-01
Sulphur dioxide	air	kg	1.24E-05	1.31E-05	2.21E-05	2.74E-05	2.27E-05	2.84E-05
Emissions to Water								
Ammonium, ion	water	kg	1.25E-08	1.49E-08	2.37E-08	2.87E-08	1.86E-08	1.98E-08
Arsenic, ion	water	kg	1.18E-08	1.20E-08	2.12E-08	2.54E-08	1.33E-08	1.41E-08
Cadmium, ion	water	kg	7.01E-09	7.13E-09	7.05E-09	8.48E-09	7.61E-09	8.22E-09
Carbon-14	water	kBq	9.80E-06	1.04E-05	1.49E-05	1.82E-05	1.48E-05	1.52E-05
Cesium-137	water	kBq	4.70E-06	4.97E-06	7.18E-06	8.73E-06	7.12E-06	7.31E-06
Chromium, ion	water	kg	1.26E-09	1.26E-09	1.13E-09	1.36E-09	1.35E-09	1.44E-09
Chromium VI	water	kg	2.91E-07	2.96E-07	2.67E-07	3.21E-07	3.31E-07	3.34E-07
COD	water	kg	1.76E-05	1.88E-05	2.06E-05	2.49E-05	2.08E-05	2.21E-05
Copper, ion	water	kg	1.68E-07	1.69E-07	1.44E-07	1.73E-07	1.85E-07	1.94E-07
Lead	water	kg	2.01E-08	2.11E-08	1.05E-07	1.26E-07	2.43E-08	2.63E-08
Mercury	water	kg	1.04E-09	1.06E-09	8.41E-10	1.01E-09	1.12E-09	1.20E-09
Nickel, ion	water	kg	2.32E-07	2.33E-07	2.55E-07	3.09E-07	2.78E-07	3.03E-07
Nitrate	water	kg	6.94E-07	5.51E-07	5.24E-06	6.29E-06	6.34E-07	6.21E-07
Oils, unspecified	water	kg	1.54E-06	1.55E-06	2.41E-06	2.93E-06	1.70E-06	1.83E-06
PAH	water	kg	2.06E-10	2.07E-10	3.66E-10	4.46E-10	2.80E-10	3.07E-10
Phosphate	water	kg	6.52E-07	6.63E-07	5.49E-07	6.60E-07	6.97E-07	7.47E-07
Emissions to Soil								
Arsenic	soil	kg	6.04E-12	9.41E-12	1.47E-11	1.78E-11	1.15E-11	1.09E-11
Cadmium	soil	kg	7.45E-12	7.97E-12	3.33E-11	4.02E-11	1.01E-11	8.89E-12
Chromium	soil	kg	1.42E-10	1.42E-10	6.29E-10	7.59E-10	1.77E-10	1.64E-10

Bijlage-Figuur 11 (vervolg)

Parameter	Path	Unit	*2025 Pessimistic*	*2025 Optimistic realistic*	*2025 Very Optimistic*	*2050 Pessimistic*	*2050 Optimistic realistic*	*2050 Very Optimistic*
					KWh			
Chromium VI	soil	kg	3.86E-10	4.07E-10	7.31E-10	8.83E-10	5.16E-10	5.71E-10
Lead	soil	kg	4.25E-11	6.40E-11	1.30E-10	1.57E-10	7.92E-11	7.19E-11
Mercury	soil	kg	4.27E-13	3.32E-13	3.26E-12	3.92E-12	3.91E-13	3.77E-13
Oils, unspecified	soil	kg	9.96E-07	9.91E-07	2.06E-06	2.51E-06	1.13E-06	1.21E-06

Bijlage-Figuur 12 (vervolg)

Bijlage B Eigen berekeningen

B.1 Berekeningen voor de GBF van een 10 MW turbine in 40m diep water

Opp. afgeknotte kegel (a)	pi *(D1+D2)*H1/2	1 884,96	m²
Opp. Cilinder (b)	pi *D2 *H2	1 413,72	m²
Opp. Bodemplaat (c)	pi *(D2/2)²	314,16	m²
Opp. Totale fundering (d)	(a)+(b)+(c)	3 612,83	m²
Volume bewapeningsstaal	(c) * 0.025	90,32	m³
Volume beton	(c) * 1	3 612,83	m³
Massa staal	7 800 kg/m³	704 502,15	kg
Massa beton	2 500 kg/m³	9 032 078,88	kg

D1	40 m
D2	20 m
H1	20 m
H2	20 m

Bijlage-Figuur 13: volume en massaberekeningen voor de hoeveelheid bewapeningsstaal en beton een GBF.

B.2 Energieconsumptie productiefase

Onderdeel	Gewicht	Materiaal	Energieconsumptie per ton	Totale energieconsumptie
Rotorbladen	3*30=90 ton	Carbon	286 Gigajoule	90*286 = 25.740 Terajoule
Gondel	500 ton	Staal	17.4 Gigajoule	500*17.4 = 8.700 Terajoule
Toren	350 ton	Staal	17.4 Gigajoule	350*17.4 = 6.090 Terajoule
Transitiestuk	150 ton	Staal	17.4 Gigajoule	150*17.4 = 2.610 Terajoule
Jacket	700 ton	Staal	17.4 Gigajoule	700*17.4 = 12.180 Terajoule
Verankering jacket	150 ton	Staal	17.4 Gigajoule	150*17.4 = 2.610 Terajoule

Bijlage-Figuur 14: Energieconsumptie bij de productie van een 10 MW windturbine met een Jacket fundering

Onderdeel	Gewicht	Materiaal	Energieconsumptie per ton	Totale energieconsumptie
Rotorbladen	3*30=90 ton	Carbon	286 Gigajoule	90*286 = 25.740 Terajoule
Gondel	500 ton	Staal	17.4 Gigajoule	500*17.4 = 8.700 Terajoule
Toren	350 ton	Staal	17.4 Gigajoule	350*17.4 = 6.090 Terajoule
Transitiestuk	150 ton	Staal	17.4 Gigajoule	150*17.4 = 2.610 Terajoule
Gravitaire fundering	700 ton	Staal	17.4 Gigajoule	700*17.4 = 12.180 Terajoule
Gravitaire fundering	9 000 ton	Beton	1.2 Gigajoule	9 000*1.2 = 10.800 Terajoule

Bijlage-Figuur 15: Energieconsumptie bij de productie van een 10 MW windturbine met een gravitaire fundering

Grotere eenheid	Onderdelen	Totaal verbruik
Totaal Molen	Rotorbladen + gondel + toren	40,530 Terajoule
Transitiestuk		2,610 Terajoule
Totaal JF	Jacket + verankering jacket	14,790 Terajoule
Totaal GBF	Bewapening + beton	22,90 Terajoule
Totaal molen op JF	57,930 Terajoule (ca. 16 GWh)	
Totaal molen op GBF	66,120 Terajoule (ca. 18 GWh)	

Bijlage-Figuur 16: Totale energieconsumptie bij de productie van een 10 MW windturbine en zijn fundering

B.3 CO_2 uitstoot productiefase

Onderdeel	Gewicht	Materiaal	CO2 uitstoot per ton	Totale CO2 uitstoot
Rotorbladen	3*30=90 ton	Carbon	22.4 ton	90*22.4 = 20 160 ton
Gondel	500 ton	Staal	920 kg	500*920 = 460 ton
Toren	350 ton	Staal	920 kg	350*920 = 322 ton
Transitiestuk	150 ton	Staal	920 kg	150*920 = 138 ton
Jacket	700 ton	Staal	920 kg	700*920 = 644 ton
Verankering jacket	150 ton	Staal	920 kg	150*920 = 138 ton

Bijlage-Figuur 17: CO_2 productie tijdens de constructiefase van een 10 MW windmolen op jacketfundering

Onderdeel	Gewicht	Materiaal	CO2 uitstoot per ton	Totale CO2 uitstoot
Rotorbladen	3*30=90 ton	Carbon	22.4 ton	90*22.4 = 20 160 ton
Gondel	500 ton	Staal	920 kg	500*920 = 460 ton
Toren	350 ton	Staal	920 kg	350*920 = 322 ton
Transitiestuk	150 ton	Staal	920 kg	150*920 = 138 ton
Gravitaire fundering	700 ton	Staal	920 kg	700*920 = 644 ton
Gravitaire fundering	9 000 ton	Beton	176 kg	9 000*176 = 1 584 ton

Bijlage-Figuur 18: CO_2 productie tijdens de constructiefase van een 10 MW windmolen op gravitaire fundering

Grotere eenheid	Onderdelen	Totale uitstoot
Totaal Molen	Rotorbladen + gondel + toren	20 942 ton
Transitiestuk		138 ton
Totaal JF	Jacket + verankering jacket	782 ton
Totaal GBF	Stalen gedeelte + beton gedeelte	2 228 ton
Totaal molen op JF	21 862 ton	
Totaal molen op GBF	23 308 ton	

Bijlage-Figuur 19: Totale CO_2 productie tijdens de constructiefase van een 10 MW windmolen

SeaStar

RAPPORT



THV SeaStar

IMDC
International Marine & Dredging Consultants

In samenwerking met

flemtek

Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar

Radar en marifone communicatie

3 juli 2013 - versie 1.0

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Titel	Radar en marifone communicatie
Project	Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar
Opdrachtgever	THV SeaStar
Documentref	I/RA/11421/13.127/MIM/
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11421 - MER SeaStar\10-Rap\Externe bijlagen\4.Flemtek-IMDC2013_Radarstudie\RA13.127_radarstudie_v1.0.doc

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	03/07/2013	Finale versie bijlage radarstudie	Prof. Dr. Ir. Johan Catrysse (Flemtek)	MIM	MSA

Verdeellijst

	Analoog	
x	Digitaal	Marc Huygens (THV SeaStar), Johan Catrysse (Flemtek)

Inhoudstafel

1. INLEIDING 1

2. ACTUELE GEGEVENS VAN RADAR, RADIOCOMMUNICATIE EN WINDTURBINES 4

2.1 RADAR EN RADIOCOMMUNICATIE 10

2.1.1 Gegevens van de SRK radarstations SCANTER 2001 en antenne CHL38 10

2.1.2 Gegevens van de RDF Direction Finders en AIS 11

2.1.3 Gegevens van het DGPS systeem 11

2.1.4 Typische gegevens van een scheepsradar 12

2.1.5 Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen 13

2.2 WINDTURBINES 15

2.3 BEREIK VAN DE SRK RADAR 18

2.4 RCS VAN SCHEPEN 23

2.5 GRENSOVERSCHRIJDENDE UITBREIDINGEN VAN HET RADAR EN VHF NETWERK 24

2.5.1 Bijkomend radarstation "Neeltje Jans" (ter hoogte van de Oosterschelde) 24

2.5.2 Bijkomend relaisstation voor de VHF radiocommunicatie – "Belwind" 27

2.6 BEWAKING VAN WINDTURBINEPARKEN 27

2.6.1 Westkant van het concessiegebied 27

2.6.2 Oostkant van het concessiegebied 29

2.6.3 Noordkant het concessiegebied 29

3. LITERATUURSTUDIE 31

4. OVERZICHT VAN DE ALS BELANGRIJK GEÏDENTIFICEERDE EFFECTEN 32

4.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID 32

4.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR DE ZIJLOBES 32

4.3 SHADOWING EN MOGELIJKE DODE ZONES 32

4.4 MOGELIJKS ONVOLDOENDE VRIJE DOORGANG TUSSEN DE WINDTURBINES (FRESNEL VOORWAARDEN) 34

4.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN MOGELIJKE VALSE ECHO'S 34

4.6 CLUTTER EFFECT DOOR DE VERANDERENDE RCS 35

4.7 DIFFRACTIE EN MULTIPATH PROPAGATIE 35

5. IMPACTANALYSE VOOR DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE SRK WALRADAR . 36

5.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID VAN DE WINDTURBINES 40

5.1.1 Radar van de Oostdijck zandbank 46

5.1.2 Radar van Oostende (nieuwe radartoren) 47

5.1.3 Radar van Zeebrugge 49

5.1.4 Radar van Cadzand 50

5.1.5 Radar van Westkapelle 52

5.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR ZIJLOBES 53

5.3 SHADOWING EN DODE ZONES 54

5.4 VRIJE FRESNEL DOORGANG DOORHEEN EEN WINDTURBINEPARK 57
5.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN VALSE ECHO'S 62
5.6 MOGELIJKE CLUTTER DOOR DRAAIENDE ROTOR EN INTERNE REFLECTIES BINNEN HET WINDPARK 64
5.7 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE EN DIFFRACTIE 69
6. IMPACTANALYSE EN CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE SCHEEPSRADAR 72
6.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID VAN DE WINDTURBINES 76
6.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR ZIJLOBES 77
6.3 SHADOWING EN DODE ZONES 78
6.4 VRIJE FRESNEL DOORGANG DOORHEEN EEN WINDTURBINEPARK 84
6.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN VALSE ECHO'S 86
6.6 MOGELIJKE CLUTTER DOOR DRAAIENDE ROTOR 90
6.7 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE EN DIFFRACTIE 90
6.8 SPECIFIEKE PRAKTIJKSITUATIES BETREFFENDE DE SCHEEPSRADAR 93
7. IMPACTANALYSE EN CUMULATIEVE EFFECTEN VAN DE VHF MARIFONE SYSTEMEN 96
7.1 REIKWIJDTE VAN HET VHF RADIOSTATION OF LOS (LINE OF SIGHT) 96
7.2 SHADOWING EN DODE ZONES, EN VRIJE FRESNEL DOORGANG 100
7.2.1 VHF communicatie tussen wal en schip (langere afstand) 100
7.2.2 VHF communicatie tussen schip en schip (kortere afstand) 102
7.3 EFFECT VAN MULTIPATH TRANSMISSIE 107
8. IMPACTANALYSE OP HET AIS SYSTEEM (AUTOMATIC INFORMATION SYSTEM) 109
9. CUMULATIEVE EFFECTEN OP HET RDF SYSTEELM (RADIO DIRECTION FINDER) 111
9.1 DGPS ZENDER IN OOSTENDE (312 KHZ) 116
10. CONCLUSIES IMPACTANALYSE 117
11. REFERENTIES 118

Bijlagen

BIJLAGE A LITERATUUROVERZICHT 119
ALGEMENE INFORMATIE 120
OFFSHORE WINDPARKEN EN INVLOED OP DE WALRADAR EN SCHEEPSRADAR 121
OFFSHORE WINDPARKEN EN INVLOED OP DE RADAR (LUCHTVAART) 122
BIJLAGE B VARIANTEN INPLANTING WINDTURBINES 124

Lijst van tabellen

TABEL 2-1 AFSTAND VAN SRK RADARSTATIONS TOT MIDDELPUNT REFERENTIEBANKEN EN SEASTAR 5
TABEL 2-2 GEGEVENS VAN DE SRK RADARSTATIONS 10
TABEL 2-3 GEGEVENS VAN DE RDF DIRECTION FINDERS EN AIS 11
TABEL 2-4 GEGEVENS VAN HET DGPS SYSTEEM 11
TABEL 2-5 GEGEVENS VAN DE MARIFONE RADIOCOMMUNICATIE KANALEN 13
TABEL 2-6 THEORETISCHE REIKWIJDTE VAN DE RADARINSTALLATIES, DOOR DE KROMMING VAN DE AARDE 19
TABEL 2-7 LOS REIKWIJDTE VAN DE RADARINSTALLATIES, DOOR DE KROMMING VAN DE AARDE 22
TABEL 6-1 LOS AFSTANDEN VOOR DE SCHEEPSRADAR 77
TABEL 6-2 OVERZICHT VAN HET RADARBEREIK VAN EEN SCHEEPSRADAR IN FUNCTIE VAN RCS VAN EEN OBJECT 77
TABEL 7-1 TYPISCHE GEGEVENS VAN DE VHF RADIOSYSTEMEN 96
TABEL 7-2 LOS REIKWIJDTE VOOR VHF COMMUNICATIE IN FUNCTIE VAN ANTENNEHOOGTE AAN BOORD 97

Lijst van figuren

FIGUUR 1-1 OVERZICHTSKAART VAN DE VERSCHILLENDE CONCESSIEGEBIEDEN TEGENOVER DE KUSTLIJN 1
FIGUUR 1-2 OVERZICHTSKAART VAN DE VERSCHILLENDE GEBIEDEN (EEZ EN SAR, SRK) TEGENOVER DE KUSTLIJN 2
FIGUUR 1-3 TYPISCH SCHEEPVAARTVERKEER OVER ÉÉN JAAR (AIS DATA 2012) (BRON: BEHEER- EN EXPLOITATIE TEAM SCHELDERADARKETEN, J. RAES, HOOFDBEHEERDER BET-SRK (VL), A. DESCAMPS, AFDELINGSHOOFD SCHEEPVAARTBEGELEIDING) 3
FIGUUR 1-4 TYPISCH RADAR-SCREENSHOT VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER (MOMENTOPNAME 2012) 3
FIGUUR 2-1 SRK ACTIEF WERKINGSGEBIED EN LIGGING VAN DE SRK RADARSTATIONS 4
FIGUUR 2-2 LOS BEREIK SRK -3 M 6
FIGUUR 2-3 LOS BEREIK SRK -10 M 7
FIGUUR 2-4 LOS BEREIK SRK -20 M 8
FIGUUR 2-5 LOS BEREIK SRK -100 M 9
FIGUUR 2-6 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE DIFFRACTIE EIGENSCHAPPEN VAN SOMMIGE STRUCTUREN 15
FIGUUR 2-7 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE REFLECTERENDE EIGENSCHAPPEN VAN EEN STRUCTUUR (RCS) 16
FIGUUR 2-8 VOORBEELD VAN DE WISSELENDE RCS WAARDEN VAN EEN WINDTURBINE BIJ DRAAIENDE ROTOR (POUPART, 2003) 16
FIGUUR 2-9 DISTRIBUTIE VAN DE MONOSTATISCHE RCS VOOR EEN WINDTURBINE (GREVING, 2007). 18

FIGUUR 2-10 DISTRIBUTIE VAN DE BISTATISCHE RCS VOOR EEN WINDTURBINE (GREVING, 2007). 18

FIGUUR 2-11 AFGEBOGEN PROPAGATIE VAN RADIOSTRALEN ROND DE AARDE 19

FIGUUR 2-12 VIRTUELE OF EFFECTIEVE KROMMING VAN DE AARDE MET RECHTLIJNIGE RADIOPROPAGATIE 19

FIGUUR 2-13 REIKWIJDTE BIJ EEN RCS VAN 1 M² 20

FIGUUR 2-14 REIKWIJDTE BIJ EEN RCS VAN 25 M² 21

FIGUUR 2-15 REIKWIJDTE BIJ EEN RCS VAN 100 M² 21

FIGUUR 2-16 REIKWIJDTE: VERGELIJKING BIJ DIVERSE WAARDEN VAN RCS (LICHTBLAUW: 1 M², DONKERBLAUW: 10 M², PAARS: 100 M², ROOD: 1000 M²) 22

FIGUUR 2-17 BEPERKTE REIKWIJDTE VAN DE NEDERLANDSE SRK RADARSTATIONS (LOS HOOGTE VAN 3 M) 24

FIGUUR 2-18 UITBREIDING VAN DE REIKWIJDTE VAN DE SRK RADARSTATIONS DOOR NEELTJE JANS (LOS 3M) 25

FIGUUR 2-19 REIKWIJDTE VAN DE SRK RADARSTATIONS, VOOR DE NEDERLANDSE STATIONS BIJ EEN LOS VAN 20 M (BOVEN) EN VOOR HET VOLLEDIGE RADARNETWERK BIJ EEN RCS VAN 25 M² (INDIEN LOS VOLDOENDE IS) 26

FIGUUR 2-20 UITBREIDING VAN HET VHF BEREIK BIJ INSTALLATIE VAN EEN BIJKOMEND RELAISSTATION "BELWIND" 27

FIGUUR 2-21 HUIDIG LOS BEREIK VAN DE OOSTDIJCK RADAR, VOOR EEN OBJECTHOOGTE VAN 3M,EN MOGELIJK BEREIK (RODE LIJN) BIJ EEN AANPASSING VAN DE RADAR ANTENNEMAST 28

FIGUUR 2-22 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN EEN BIJKOMENDE RADAR IN WESTELIJKE RICHTING, MET BEPERKT BEREIK 28

FIGUUR 2-23 RADARBEREIK BIJ EEN LOS HOOGTE VAN 3 M VOOR "NEELTJE JANS", EN EEN EVENTUEEL BIJKOMEND RADARSTATION IN OOSTELIJKE RICHTING (MET BEPERKT BEREIK) 29

FIGUUR 2-24 NOORDFLANKEN VAN DE BEIDE CONCESSIEGEBIEDEN, DIE NIET ZICHTBAAR ZIJN VOOR DE HUIDIGE SRK RADARS, NOCH VOOR EVENTUEEL BIJKOMENDE RADAR INSTALLATIES DIE DE WESTELIJKE EN DE OOSTELIJKE FLANKEN "BEWAKEN" 30

FIGUUR 4-1 DETECTIE DOOR ZIJLOBES – REF. RAPPORT CCE5 N°3 VAN ANFR 33

FIGUUR 4-2 DODE ZONES EN SCHADUWZONES ACHTER EEN WINDTURIBINE - REF. RAPPORT CCE5 N°3 VAN ANFR EN FRESNEL EDGE ATTENUATION 33

FIGUUR 4-3 VOORBEELD FRESNEL ELLIPS 34

FIGUUR 4-4 MEERVOUDIGE REFLECTIE MET EEN VIRTUEEL OBJECT ALS VALSE ECHO 34

FIGUUR 4-5 VOORBEELD VAN DE WAARNEMINGSCELLEN VAN HET RADARBEELD 35

FIGUUR 4-6 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN RANGE EN AZIMUTH ERRORS DOOR MULTIPATH EFFECTEN 35

FIGUUR 5-1 LIGGING VAN DE VERSCHILLENDE CONCESSIES IN HET BELGISCHE BCP EN BORSSELE VOOR HET NCP 36

FIGUUR 5-2 TYPISCH SCHEEPVAARTVERKEER VAN ÉÉN JAAR (AIS, 2012) 37

FIGUUR 5-3 HOOFD-NAVIGATIEROUTES EN LOS VAN DE RADARINSTALLATIES VOOR EEN OBJECTHOOGTE VAN 10 M 37

FIGUUR 5-4 SECUNDAIRE NAVIGATIEROUTES EN LOS VAN DE RADARINSTALLATIES VOOR EEN OBJECTHOOGTE VAN 10 M 38

FIGUUR 5-5 LOS BEREIK VAN DE VLAAMSE RADARSTATIONS VAN SRK BIJ EEN OBJECTHOOGTE VAN 3 M 39

FIGUUR 5-6 LOS BEREIK VAN DE NEDERLANDSE RADARSTATIONS VAN SRK BIJ EEN OBJECTHOOGTE VAN 3 M, INCLUSIEF HET GEPLANDE STATION NEELTJE JANS 40

FIGUUR 5-7 LOS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN MASTHOOGTE VAN DE WINDTURBINES VAN 100 M. 41

FIGUUR 5-8 RCS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN RCS VAN 1 M² 41

FIGUUR 5-9 RCS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN RCS VAN 10 M² 42

FIGUUR 5-10 RCS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN RCS VAN 25 M² 42

FIGUUR 5-11 RCS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN RCS VAN 100 M² 43

FIGUUR 5-12 SCREENSHOT VAN DE REËLE RADARWAARNEMINGEN 44

FIGUUR 5-13 FRESNEL EDGE ATTENUATION DOOR EEN WINDTURBINE OP 25 KM AFSTAND, OBJECT MET RCS = 1000 M² 45

FIGUUR 5-14 FRESNEL EDGE ATTENUATION DOOR EEN WINDTURBINE OP 40 KM AFSTAND, OBJECT MET RCS = 1000 M² 45

FIGUUR 5-15 RADARBEREIK BIJ RCS = 1 M² EN EEN LOS OBJECTHOOGTE VAN 3 M, OOSTDIJCK 46

FIGUUR 5-16 RADARBEREIK BIJ RCS = 100 M² EN LOS OBJECTHOOGTEN VAN 10 M EN 20 M, OOSTDIJCK 47

FIGUUR 5-17 RADARBEREIK BIJ RCS = 1 M² EN EEN LOS OBJECTHOOGTE VAN 3 M, OOSTENDE – NIEUWE TOREN 48

FIGUUR 5-18 RADARBEREIK BIJ RCS = 100 M² EN LOS OBJECTHOOGTEN VAN 10 M EN 20 M, OOSTENDE – NIEUWE TOREN 48

FIGUUR 5-19 RADARBEREIK BIJ RCS = 1 M² EN EEN LOS OBJECTHOOGTE VAN 3 M, ZEEBRUGGE 49

FIGUUR 5-20 RADARBEREIK BIJ RCS = 100 M² EN LOS OBJECTHOOGTEN VAN 10 M EN 20 M, ZEEBRUGGE 50

FIGUUR 5-21 RADARBEREIK BIJ RCS = 1 M² EN EEN LOS OBJECTHOOGTE VAN 3 M, CADZAND 51

FIGUUR 5-22 RADARBEREIK BIJ RCS = 100 M² EN LOS OBJECTHOOGTEN VAN 10 M EN 20 M, CADZAND 51

FIGUUR 5-23 RADARBEREIK BIJ RCS = 1 M² EN EEN LOS OBJECTHOOGTE VAN 3 M, WESTKAPELLE 52

FIGUUR 5-24 RADARBEREIK BIJ RCS = 100 M² EN LOS OBJECTHOOGTEN VAN 10 M EN 20 M, WESTKAPELLE 53

FIGUUR 5-25 GEVOELIGHEID VAN DE RADARONTVANGST VIA ZIJLOBE DETECTIE, OBJECT MET RCS = 100 M² 54

FIGUUR 5-26 GEVOELIGHEID VAN DE RADARONTVANGST VIA ZIJLOBE DETECTIE, OBJECT MET RCS = 1000 M² 54

FIGUUR 5-27 LOS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN OBJECTHOOGTE VAN 10 M. 55

FIGUUR 5-28 LOS BEREIK VAN DE SRK RADARSTATIONS, BIJ EEN OBJECTHOOGTE VAN 20 M. 55

FIGUUR 5-29 FRESNEL EDGE ATTENUATION VOOR ÉÉN WINDTURBINE OP 25 KM EN 40 KM, RCS VAN OBJECT 1 M² 56

FIGUUR 5-30 FRESNEL EDGE ATTENUATION VOOR ÉÉN WINDTURBINE OP 25 KM EN 40 KM, RCS VAN OBJECT 25 M² 56

FIGUUR 5-31 FRESNEL EDGE ATTENUATION VOOR ÉÉN WINDTURBINE OP 25 KM EN 40 KM, RCS VAN OBJECT 100 M² 56

FIGUUR 5-32 FRESNEL EDGE ATTENUATION VOOR ÉÉN WINDTURBINE OP 25 KM EN 40 KM, RCS VAN OBJECT 1000 M² 57

FIGUUR 5-33 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN VOOR VRIJE RADIOPROPAGATIE TUSSEN OBJECTEN 58

FIGUUR 5-34 VOORBEELDEN VAN EEN "CLUSTERING" BIJ MEERDERE NIET-OPGELIJNDE WINDTURBINES 58

FIGUUR 5-35 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN OOSTENDE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) MET EEN EFFECT OP SEASTAR (ORANJE ZONE) 59

FIGUUR 5-36 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN OOSTENDE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) VOOR TOTAAL CONCESSIEGEBIED 60

FIGUUR 5-37 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN ZEEBRUGGE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) MET EEN EFFECT VOOR SEASTAR, EN IDEM VOOR HET VOLLEDIGE CONCESSIEGEBIED 60

FIGUUR 5-38 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN CADZAND (LOS ZONE 20 M HOOGTE) MET EEN EFFECT VOOR SEASTAR,EN IDEM VOOR HET VOLLEDIGE CONCESSIEGEBIED 61

FIGUUR 5-39 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN WESTKAPELLE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) MET EEN EFFECT VOOR SEASTAR - DE GROENE ZONE TOONT AAN DAT SEASTAR VOLLEDIG ZAL VERDOKEN LIGGEN ACHTER DE OFFSHORE WINDPARKEN VAN HET CONCESSIEGEBIED BORSSELE 61

FIGUUR 5-40 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN WESTKAPELLE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) VOOR TOTAAL CONCESSIEGEBIED 62

FIGUUR 5-41 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN MEERVOUDIGE REFLECTIES 63

FIGUUR 5-42 ZONES ROND DE WINDTURBINES WAARBINNEN MEERVOUDIGE REFLECTIES KUNNEN ONTSTAAN 63

FIGUUR 5-43 ZONES ROND DE WINDTURBINES WAARBINNEN MEERVOUDIGE REFLECTIES KUNNEN ONTSTAAN 64

FIGUUR 5-44 SCREENSHOT – ALGEMEEN BEELD VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER 65

FIGUUR 5-45 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN C-POWER EN BELWIND, VOOR HET RADARSTATION VAN OOSTENDE 66

FIGUUR 5-46 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN BELWIND, VOOR HET RADARSTATION VAN OOSTENDE 66

FIGUUR 5-47 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN C-POWER, VOOR HET RADARSTATION VAN OOSTENDE 67

FIGUUR 5-48 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN C-POWER EN BELWIND, VOOR HET RADARSTATION VAN ZEEBRUGGE 67

FIGUUR 5-49 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN BELWIND, VOOR HET RADARSTATION VAN ZEEBRUGGE 68

FIGUUR 5-50 SCREENSHOT VAN DE OMGEVING VAN C-POWER, VOOR HET RADARSTATION VAN ZEEBRUGGE 68

FIGUUR 5-51 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN RANGE EN AZIMUTH ERRORS DOOR MULTIPATH EFFECT DOOR DIFFRACTIE 69

FIGUUR 5-52 PRINCIPESCHETS VAN MULTIPATH DOOR REFLECTIE OP EEN WINDTURBINE 69

FIGUUR 5-53 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE VOOR EEN WINDPARK OP 25 KM 70

FIGUUR 5-54 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE VOOR EEN WINDPARK OP 40 KM 71

FIGUUR 6-1 VOORBEELD VAN DE MONTAGE VAN DE ANTENNES VAN EEN SCHEEPSRADAR OP DE MASTEN 72

FIGUUR 6-2 VOORBEELDEN VAN BEPERKTE ZICHTBAARHEID ROND EEN WINDTURBINEPARK 73

FIGUUR 6-3 VOORBEELD VAN HET KENTISH WINDPARK ALS REFERENTIE 74

FIGUUR 6-4 VOORBEELD VAN HET KENTISH WINDPARK MET SCHEPEN IN DE BUURT 74

FIGUUR 6-5 NOG EEN VOORBEELD VAN EEN SCHIP, IN HET WINDPARK (A), DAT ZICHTBAAR BLIJFT OP EEN SCHEEPSRADAR 75

FIGUUR 6-6 HET REFERENTIEBEELD VOOR HET NANTUCKET WINDPARK 76

FIGUUR 6-7 BEELD VAN HET NANTUCKET WINDPARK MET SCHEPEN (RECHTS) EN REFLECTIES VAN EEN MAST 76

FIGUUR 6-8 VERANDERING IN LOS BEREIK DOOR HET ROLLEN VAN EEN SCHIP 77

FIGUUR 6-9 ZIJLOBE DETECTIE VAN EEN SCHEEPSRADAR VOOR EEN OBJECT MET EEN RCS = 25 M² 78

FIGUUR 6-10 VOORBEELD VAN ÉÉN VAN DE MOGELIJKE INPLANTINGEN VAN WINDTURBINES IN SEASTAR 79

FIGUUR 6-11 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 1 KM VAN EEN WINDPARK. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 25 M² 80

FIGUUR 6-12 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 1 KM VAN EEN WINDPARK. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 100 M² 81

FIGUUR 6-13 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 5 KM VAN EEN WINDPARK. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 25 M² 81

FIGUUR 6-14 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 5 KM VAN EEN WINDPARK. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 100 M² 82

FIGUUR 6-15 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 350 M VAN EEN WINDTURBINE. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 25 M² 82

FIGUUR 6-16 DEMPING VAN HET RADARSIGNAAL VOOR EEN SCHIP OP 350 M VAN EEN WINDTURBINE. HET OBJECT IN LIJN ACHTER DE WINDTURBINE HEEFT EEN TYPISCHE RCS = 100 M² 83

FIGUUR 6-17 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN BIJ EEN WINDPARK, VOOR EEN SCHIP OP 1 KM AFSTAND 84

FIGUUR 6-18 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN BIJ EEN WINDPARK, VOOR EEN SCHIP OP 5 KM AFSTAND 84

FIGUUR 6-19 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN BIJ EEN WINDPARK, VOOR EEN SCHIP OP 10 KM AFSTAND 85

FIGUUR 6-20 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN BIJ EEN WINDPARK, VOOR EEN SCHIP OP 350 M AFSTAND 85

FIGUUR 6-21 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET EFFECT VAN MEERVOUDIGE REFLECTIES EN VALSE ECHOVORMING 86

FIGUUR 6-22 ZONES WAARBINNEN MEERVOUDIGE REFLECTIES KUNNEN OPTREDEN VOOR EEN SCHIP MET EEN RCS = 25 M² EN TWEE VERSCHUILLENDE RCS WAARDEN VOOR DE WINDTURBINE 87

FIGUUR 6-23 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE POSITIE VAN EEN DERDE OBJECT DAT AANLEIDING KAN GEVEN TOT MEERVOUDIGE REFLECTIES (ZIE FIGUUR 6-21) VOOR ZONES A, B EN C. 87

FIGUUR 6-24 ZONES WAARBINNEN MEERVOUDIGE REFLECTIES KUNNEN OPTREDEN VOOR EEN SCHIP MET EEN RCS = 100 M² EN TWEE VERSCHUILLENDE RCS WAARDEN VOOR DE WINDTURBINE 88

FIGUUR 6-25 SITUATIE WAARBIJ ALLE ZONES EEN AANEENGESLOTEN GEBIED VORMEN 89

FIGUUR 6-26 SITUATIE WAARBIJ ALLE ZONES AFZONDERLIJKE GEBIEDEN VORMEN 89

FIGUUR 6-27 ZONES WAARBINNEN MEERVOUDIGE REFLECTIES KUNNEN OPTREDEN VOOR EEN SCHIP MET EEN RCS = 500 M² EN EEN WINDTURBINE MET EEN RCS = 1000 M² (WORST CASE)..... 89

FIGUUR 6-28 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN RANGE EN AZIMUTH ERRORS DOOR MULTIPATH EFFECT DOOR DIFFRACTIE 90

FIGUUR 6-29 MULTIPATH PROPAGATIE SCHIP/SCHIP DOOR REFLECTIE OP EEN TWEEDE OBJECT..... 91

FIGUUR 6-30 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE BIJ TYPISCHE AFSTANDEN VAN 1 KM 91

FIGUUR 6-31 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE BIJ TYPISCHE AFSTANDEN VAN 2,5 KM 92

FIGUUR 6-32 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE BIJ EEN AFSTAND VAN 350 M VOOR DE SCHEEPSRADAR OP 1 KM 92

FIGUUR 6-33 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE BIJ EEN AFSTAND VAN 350 M VOOR DE SCHEEPSRADAR OP 2,5 KM 93

FIGUUR 6-34 VOORBEELD VAN DE VERMINDERING VAN DE ZONE VOOR VALSE ECHO'S DOOR VERMINDERING VAN DE GEVOELIGHEID VAN DE ONTVANGER VAN DE SCHEEPSRADAR..... 94

FIGUUR 6-35 VOORBEELD VAN DE VERMINDERING VAN DE ZONE VOOR VALSE ECHO'S DOOR VERMINDERING VAN DE GEVOELIGHEID VAN DE ONTVANGER VAN DE SCHEEPSRADAR..... 94

FIGUUR 6-36 RADARBEELDEN BIJ VERMINDERING VAN DE GEVOELIGHEID VAN DE ONTVANGER 100% GEVOELIGHEID (LINKS), 50% GEVOELIGHEID (MIDDEN), 10% GEVOELIGHEID (RECHTS) [REF. MCA STUDIE VAN DE NORTH HOYLE WIND FARM]..... 95

FIGUUR 7-1 TYPISCHE SCHEEPSMAST MET RADARANTENNES EN COMMUNICATIEANTENNES 97

FIGUUR 7-2 TYPISCH ZENDBEREIK VOOR VERSCHILLENDE TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE BOORDINSTALLATIE 97

FIGUUR 7-3 WORST CASE REIKWIJDTE (45 KM) VOOR VHF COMMUNICATIE VAN WAL NAAR SCHIP 98

FIGUUR 7-4 BEST CASE REIKWIJDTE (55 KM)VOOR VHF COMMUNICATIE VAN WAL NAAR SCHIP 98

FIGUUR 7-5 OVERZICHT VAN DE ONTVANGST (WAARDERING 0-5) VAN DE VHF KANALEN 16-67-09 OP ZEE 99

FIGUUR 7-6 LOGGING VAN DE VHF COMMUNICATIE, WAARUIT HET "NUL"BEREIK OP DE VERRE ROUTE DUIDELIJK BLIJKT. DE ZWARTE STIPPEN/LIJNEN ZIJN EEN VERZAMELING VAN LIGGINGEN VAN SCHEPEN TIJDENS EEN VHF RADIO CONTACT..... 99

FIGUUR 7-7 TYPISCH WORST CASE LOS BEREIK VOOR DE VHF COMMUNICATIE VAN SCHIP NAAR WAL 100

FIGUUR 7-8 DEMPING VAN VHF SIGNALEN ACHTER EEN WINDTURBINE, OP EEN AFSTAND VAN 25 KM UIT DE KUST..... 101

FIGUUR 7-9 BLIND RADIO (EN RADARGEBIED) ACHTER DE PROJECTEN C-POWER EN NORTHER..... 101

FIGUUR 7-10 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN VOOR OBJECTEN OP EEN AFSTAND VAN 25 KM EN 40 KM..... 102

FIGUUR 7-11 LIGGING VAN DE HOOFDROUTES VOOR HET SCHEEPVAARTVERKEER TEGENOVER DE CONCESSIEGEBIEDEN WT'S..... 103

FIGUUR 7-12 DEMPING VAN EEN WINDTURBINE OP EEN AFSTAND VAN 2,5 KM VAN DE VHF ZENDER..... 104

FIGUUR 7-13 DEMPING VAN EEN WINDTURBINE OP EEN AFSTAND VAN 1 KM VAN DE VHF ZENDER 104

FIGUUR 7-14 DEMPING VAN EEN WINDTURBINE OP EEN AFSTAND VAN 350 M VAN DE VHF ZENDER..... 105

FIGUUR 7-15 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN VOOR EEN VHF ZENDER OP 2,5 KM VAN OBJECTEN 106

FIGUUR 7-16 FRESNEL ELLIPS VOORWAARDEN VOOR EEN VHF ZENDER OP 350 M VAN OBJECTEN 106

FIGUUR 7-17 VOORBEELDEN VAN COMMUNICATIE TUSSEN SCHEPEN, DOORHEEN WINDPARKEN 107

FIGUUR 7-18 PRINCIPE SCHEMA VAN EEN MULTIPATH TRANSMISSIE 107

FIGUUR 7-19 ZONE VAN MOGELIJK GESTOORDE RADIO-ONTVANGST, VOLGENS DE AANBEVELING ITU-R B.805 108

FIGUUR 8-1 SCREENSHOT VAN HET GECOMBINEERDE RADARSCHERM MET AIS GEGEVENS 110

FIGUUR 9-1 ANTENNE ADD050SR VAN DE RDF PEILSTATIONS 111

FIGUUR 9-2 SCHAKELSCHEMA VAN DE RDF INSTALLATIE OP BASIS VAN R&S DDF04/ADD050SR 111

FIGUUR 9-3 PRINCIPE SCHETS VAN MULTIPATH EFFECT VOOR RDF 112

FIGUUR 9-4 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BLINDE ZONES VOOR DE RDF PEILSTATIONS VAN OOSTENDE (ZWART), ZEEBRUGGE (ROOD) EN HAAMSTEDE (BLAUW) 113

FIGUUR 9-5 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 25 KM EN EEN SCHIP OP 5 KM VAN HET RDF STATION 113

FIGUUR 9-6 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 25 KM EN EEN SCHIP OP 25 KM VAN HET RDF STATION 114

FIGUUR 9-7 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 25 KM EN EEN SCHIP OP 40 KM VAN HET RDF STATION 114

FIGUUR 9-8 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 40 KM EN EEN SCHIP OP 5 KM VAN HET RDF STATION 115

FIGUUR 9-9 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 40 KM EN EEN SCHIP OP 25 KM VAN HET RDF STATION 115

FIGUUR 9-10 HOEKAFWIJKING VOOR RDF BIJ EEN OBJECT OP 40 KM EN EEN SCHIP OP 40 KM VAN HET RDF STATION 116

FIGUUR 9-11 VOORBEELD VAN DE KLEINE VERSTORINGEN OP HET DGPS SIGNAAL VAN EEN ZENDER MET WINDTURBINES IN HET NABIJE VELD VAN DE ZENDANTENNE. 116

FIGUUR BIJLAGE B-1 INPLANTING VAN 43 X 7 MW WINDTURBINES (SAMSUNG) 125

FIGUUR BIJLAGE B-2 INPLANTING VAN 54 X 8 MW WINDTURBINES (VESTAS V164) 126

FIGUUR BIJLAGE B-3 INPLANTING VAN 62 X 5 MW WINDTURBINES (AREVA) 127

Lijst van afkortingen en uitdrukkingen

AIS	Automatic Information System, een datacommunicatie systeem voor de scheepvaart, waarbij op één van de marifone kanalen, digitale informatie doorgestuurd wordt omtrent de identiteit en de lading van het schip. Voor correcte ontvangst van de gegevens dient de gecodeerde digitale informatie aan bepaalde timing vereisten te voldoen, in casu de “delay spread”
BCP/NCP	Belgische Continentaal Plat / Nederlands Continentaal Plat
CFAR	Continuous False Alarm Rate, een toestand van de radarwaarneming waarbij aangegeven wordt dat de tracking van een vliegtuig tijdelijk in de ruis verloren gaat (door clutter) of gemaskeerd is door een grotere reflectie
dBm	Eenheid van vermogen, in een logaritmische schaal. 0 dBm is precies gelijk aan een vermogen van 1 milliWatt.
dBW	Eenheid van vermogen, in een logaritmische schaal. 0 dBW is precies gelijk aan een vermogen van 1 Watt (en ook gelijk aan 30 dBm).
- 3 dB	Deze waarde geeft aan dat nog slechts de helft van het vermogen beschikbaar is. Bij een radarbundelbreedte, wordt deze waarde gebruikt om de “openingshoek” van de radarbundel aan te geven, waarbij dus de helft van het vermogen beschikbaar is t.o.v. de hoeveelheid vermogen in de directe hoofdrichting van de radarbundel.
Delay Spread	Het verschil in tijd (door verschillende transmissiepaden) van de binnenkomende digitale informatie (pulsen), die al of niet als één of verschillende pulsen (of bits) zullen geïnterpreteerd worden.
DGPS	Systeem van positiebepaling met behulp van lage frequenties
LoS	Line of Sight, of de directe (optische) zichtbaarheid van een object of ontvangststation bij een radarinstallatie of radiocommunicatie
RCS	Radar Cross Section, of de oppervlakte van een object dat effectief een radarsignaal zal reflecteren.
RDF	Radio Direction Finder, een systeem dat met behulp van richtingsgevoelige antennes en de nodige signaalverwerking, een peilrichting van een zender kan aangeven. Door van op verschillende plaatsen te peilen, kan men uit het snijpunt van verschillende peilrichtingen, de plaats van een zender bepalen (in casu hier: van het schip)
RF	Radio Frequente systemen
SAR	Search and Rescue
SRK	Schelde Radar Keten, de Vlaams-Nederlandse instantie die instaat voor het beheer van en toezicht op het scheepvaartverkeer in de Noordzee
VHF	Very High Frequency en Ultra High Frequency, geven de frekwentiebanden
UHF	aan van radio communicatie. Voor de marifone systemen wordt VHF gebruikt tussen 150 MHz en 165 MHz

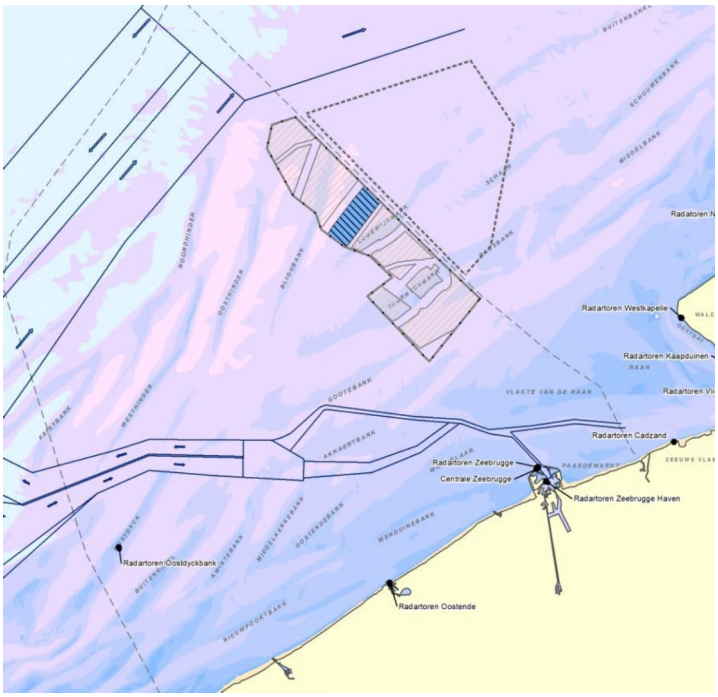
1. INLEIDING

Voorliggend rapport is een actualisatie van de radarstudie uitgevoerd in het kader van MER Rentel (Flemtek-IMDC, 2012). De gegevens van radar, radiocommunicatie en windturbines en de belangrijkste effecten van een windmolenpark op SRK walradar, op scheepsradar en op de VHF marifone systemen worden in dit rapport hernomen, doorvertaald naar de situatie van SeaStar.

De vaste installaties worden beheerd door de Vlaams-Nederlandse instantie “Schelde Radar Keten” of afgekort SRK. Alle screenshots van radarbeelden en dekkingskaarten werden ter beschikking gesteld door de dienst SRK/ “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”.

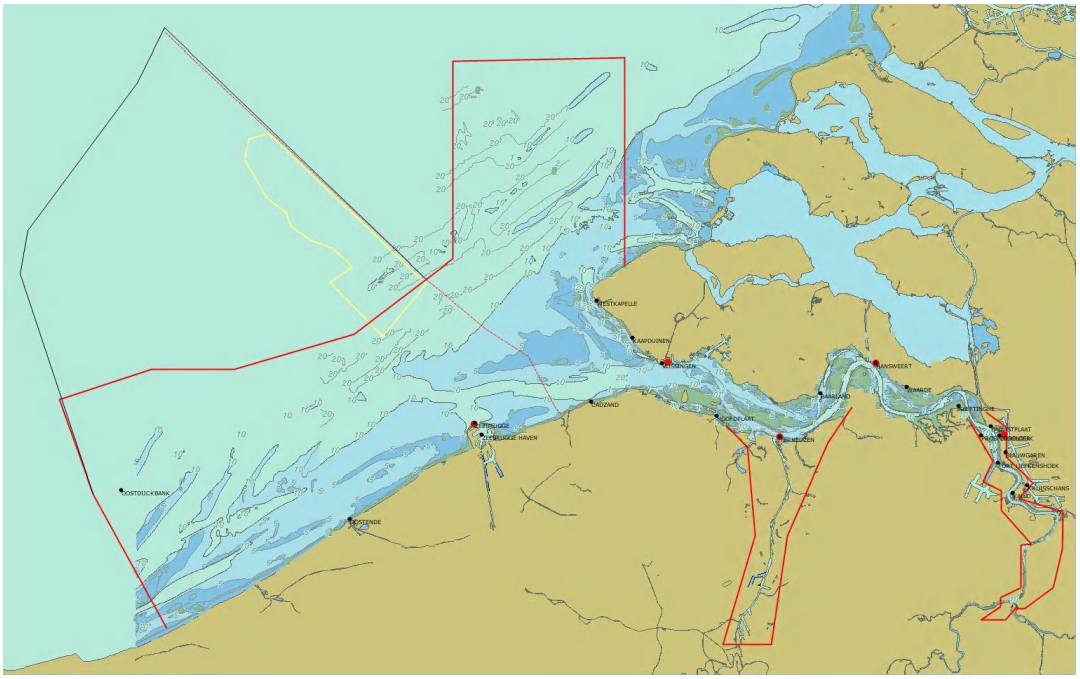
In deze studie wordt rekening gehouden met alle concessiegebieden, al of niet reeds in uitvoering of uitbating:

- Norther, gelegen tussen de kust en de Thorntonbank
- C-Power, gelegen op de Thorntonbank
- Rentel, gelegen tussen de Thorntonbank en de Lodewijkbank
- Northwind (vroeger Eldepasco), gelegen op de Lodewijkbank (vroeger Bank zonder Naam)
- SeaStar, gelegen tussen de Lodewijkbank en de Bligh Bank
- Belwind, gelegen op de Bligh Bank
- Mermaid, gelegen voorbij de Bligh Bank



Figuur 1-1 Overzichtskaart van de verschillende concessiegebieden tegenover de kustlijn

Op de bovenstaande kaart is bovendien het concessiegebied Borssele op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) aangegeven in stippellijn, en gelegen net over de grens en aanpalend aan het bekende Belgische concessiegebied. Aansluitend zijn in Figuur 1-2, de verschillende gebieden van scheepvaartbegeleiding en het Belgische EEZ gebied weergegeven.



Figuur 1-2 Overzichtskaart van de verschillende gebieden (EEZ en SAR, SRK) tegenover de kustlijn

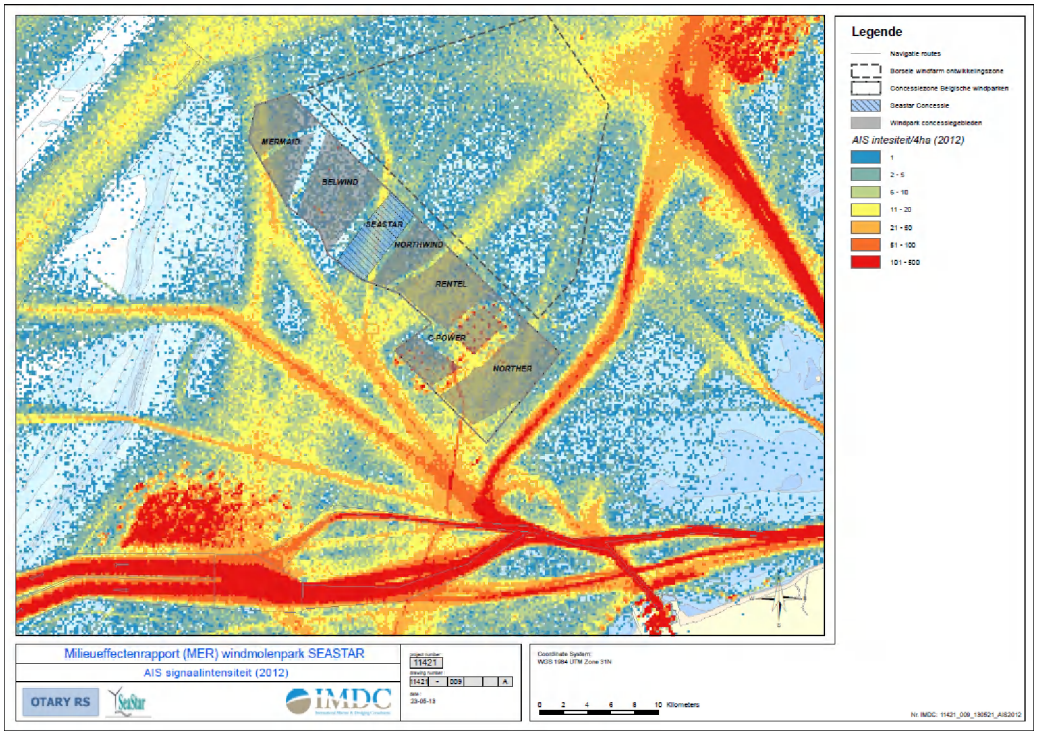
Op de kaart van Figuur 1-1 is duidelijk de vaarroute naar Zeebrugge en de Scheldemonding te zien. De scheepvaartroutes naar de verder gelegen havens komen duidelijk voorbij zowel het Belgische als het Nederlandse concessiegebied.

In de praktijk is er echter nog een druk scheepvaartverkeer in en doorheen de concessiegebieden, zoals in Figuur 1-3 te zien is. Deze scheepvaart zal een gemengde vorm zijn van locale visserij en doorgaand scheepvaartverkeer. Dit verkeer zal bij een volledige invulling van de concessiegebieden dienen verlegd te worden rond de concessiegebieden. Het is zonder meer duidelijk dat deze nieuwe “routes” de nodige aandacht en opvolging vergen voor de radaropvolging en de radiocommunicatie. Omtrent de veiligheid van deze scheepstrafiek kan verwezen worden naar de betreffende hoofdstukken in de MER studie:

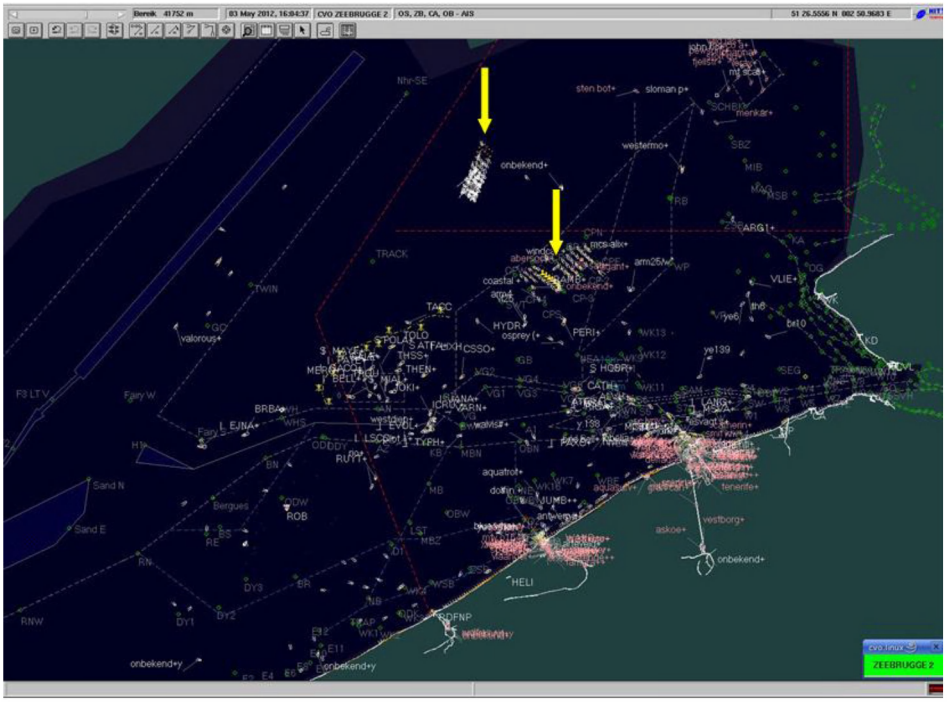
- hoofdstuk 6.3.8.1. cumulatieve effecten: risico’s en veiligheid – scheepvaart
- hoofdstuk 7.5. grensoverschrijdende effecten – risico’s en veiligheid

De route tussen Zeebrugge en de Scheldemonding is volledig aan landzijde van het concessiegebied gelegen, en zal naar radarwaarneming en radiocommunicatie niet beïnvloed worden.

Op te merken is de beperking in radarwaarneming op verdere afstanden (zie verder), maar tegelijk ook de duidelijke zichtbaarheid van de twee actuele windparken op zee (C-Power en Belwind, aangegeven met een gele pijl) (Figuur 1-3).



Figuur 1-3 Typisch scheepvaartverkeer over één jaar (AIS data 2012) (bron: Beheer- en Exploitatie Team Schelderadarketen, J. Raes, Hoofdbeheerder BET-SRK (VL), A. Descamps, Afdelingshoofd Scheepvaartbegeleiding).



Figuur 1-4 Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname 2012)[1]

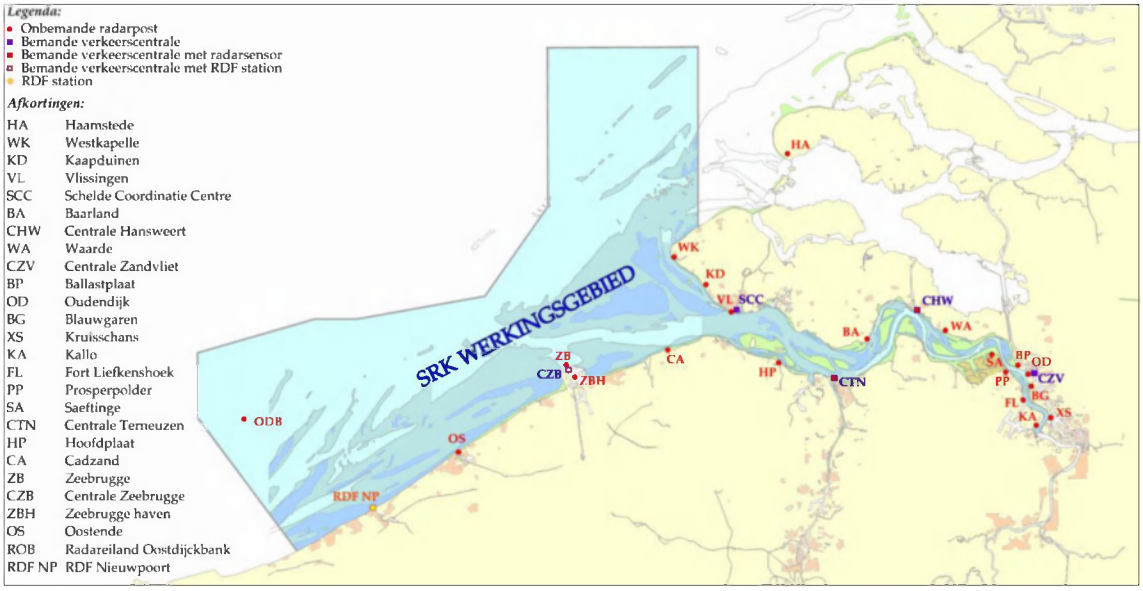
[1] Courtesy van "Afdeling Scheepvaartbegeleiding"

2. ACTUELE GEGEVENS VAN RADAR, RADIOCOMMUNICATIE EN WINDTURBINES

Vooreerst dient aangegeven te worden waar het officiële actiegebied van VTS-SRK gelegen is. Dit is het gebied waarin door de diensten van de scheepvaartbegeleiding actieve assistentie wordt verleend aan het scheepvaartverkeer.

Om een en ander duidelijker voor te stellen in het geheel van de problematiek, wordt op de kaart van Figuur 2-1 een overzicht gegeven van:

- officiële actieve werkingsgebied van de VTS-SRK scheepvaartbegeleiding
- ligging van de verschillende SRK radarstations



Figuur 2-1 SRK actief werkingsgebied en ligging van de SRK radarstations

Zoals hoger aangegeven (Figuur 1-1), zijn er de verder gelegen scheepvaartroutes, maar anderzijds ook een belangrijk scheepvaartverkeer in de directe omgeving van de geplande windparken op zee. De SRK-havenradar van Zeebrugge kan een belangrijk gedeelte van deze trafiek nog opvolgen, alhoewel dit niet meer tot het “officiële” actiedomein van SRK behoort.

Tabel 2-1 Afstand van SRK radarstations tot middelpunt referentiebanken en SeaStar

Afstand in km tot midden van	Thorntonbank	SeaStar	Lodewijkbank	Bligh Bank
Oostdijckbank	45,2 km	49,5 km	50,9 km	42,4 km
Oostende	33,9 km	34,8 km	42,5 km	39,6 km
Zeebrugge	25,4 km	37,5 km	33,9 km	38,2 km
Cadzand	39,6 km	48,2 km	43,8 km	50,9 km
Vlissingen	48,1 km	55,0 km	50,9 km	56,6 km
Westkapelle	36,7 km	43,5 km	39,6 km	53,7 km
Neeltje Jans (gepland)	51,2 km	49,5 km	54,1 km	58,8 km

Bovenstaande tabel geeft de afstand van de verschillende radarstations van SRK tot het midden van drie referentiebanken en het projectgebied SeaStar.

De radar en marifone installaties omvatten verder naast de SRK radarinstallaties:

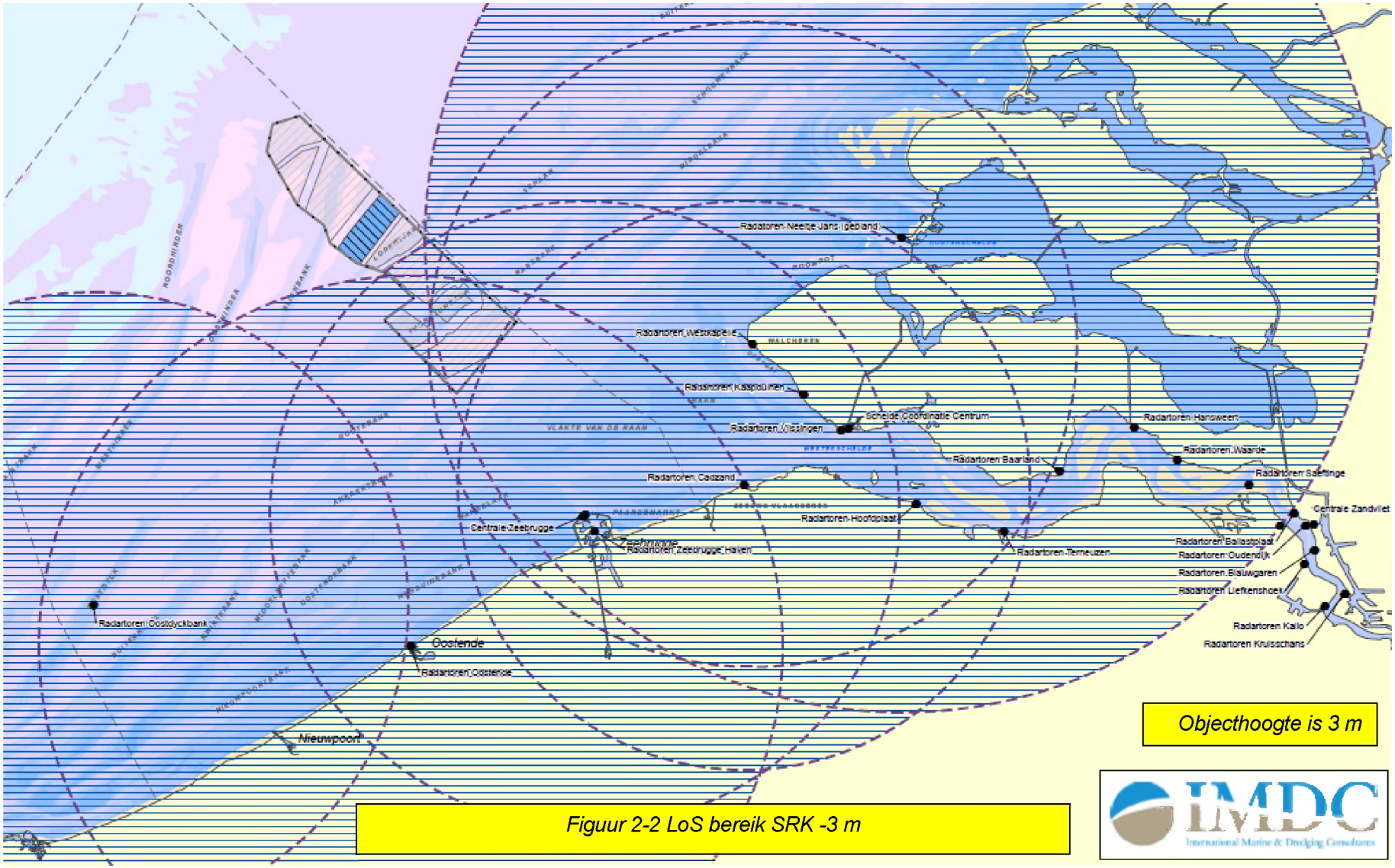
- VHF radiocommunicatie-stations (Very High Frequency, voor marifonie rond 160 MHz)
- RDF (Radio Direction Finder) en DGPS (Differential Global Positioning System)
- AIS (Automatic Information System)

In Figuur 2-2 tot Figuur 2-5, wordt een overzicht gegeven van het bereik van de SRK radarstations in functie van de effectieve hoogte van de waar te nemen objecten (Line of Sight afstanden of afgekort LoS). Voor meer details wordt verwezen naar sectie 5.1 van deze studie.

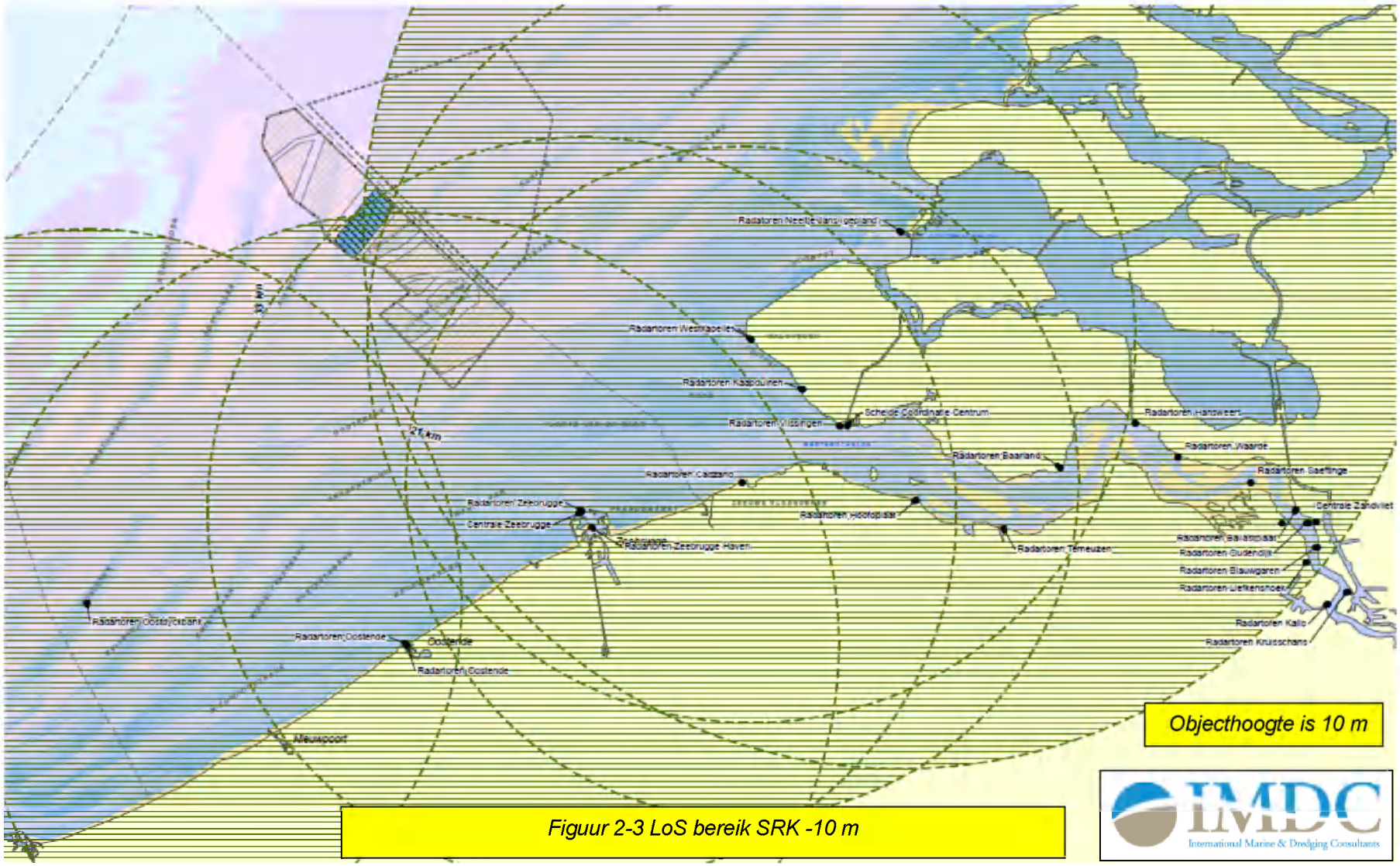
Verder dient ook nog de radar en de radioapparatuur aan boord van de schepen in aanmerking te worden genomen. Specifiek voor het radioverkeer dient aandacht besteed te worden aan zowel de communicatie schip/wal en schip/schip.

De volgende secties geven een overzicht en een beschrijving van de verschillende installaties die in aanmerking dienen genomen te worden voor deze studie:

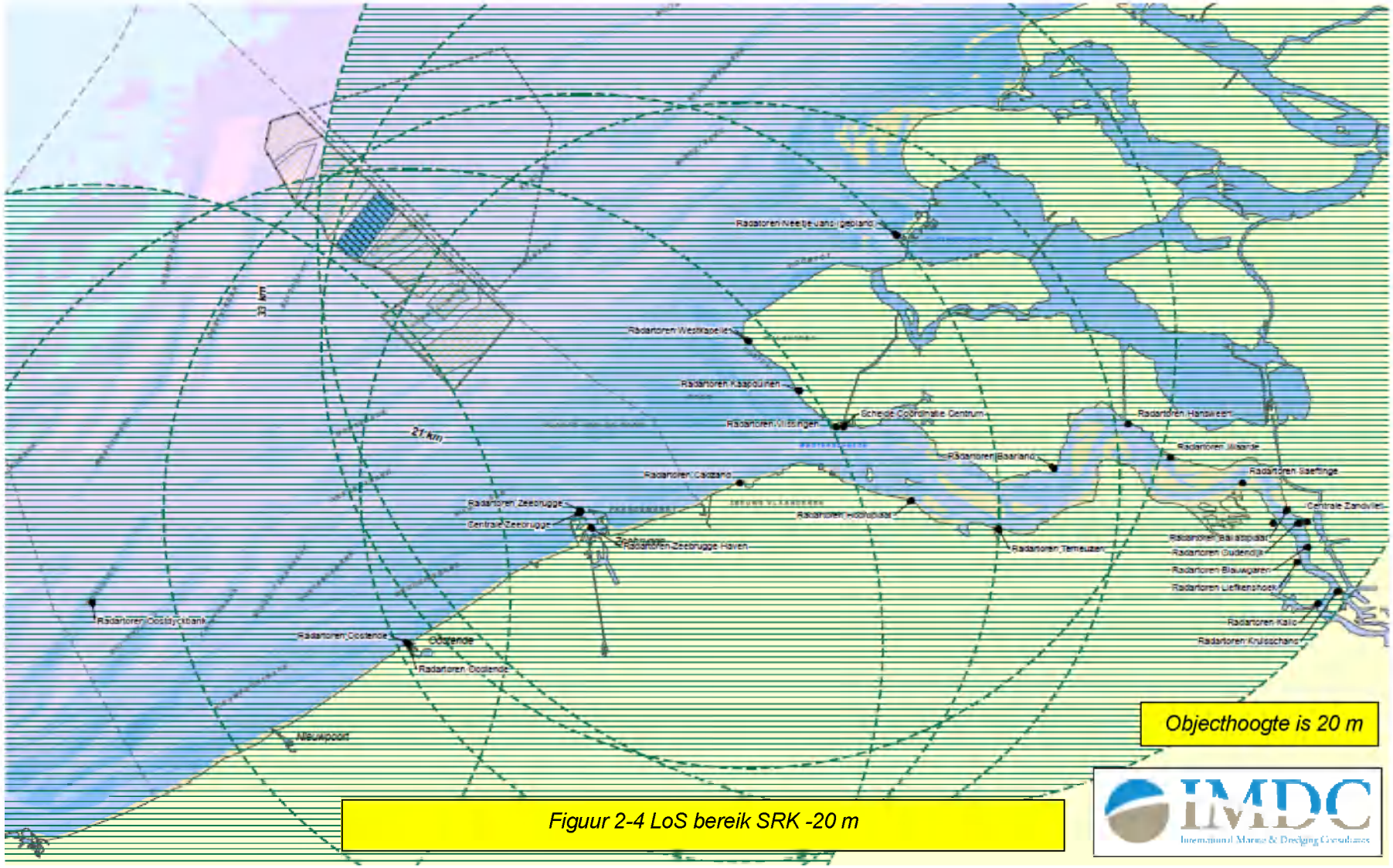
- verschillende SRK radarstations
- VHF radiocommunicatie systemen
- Radio Direction Finder (RDF) via VHF kanalen
- AIS systeem (via VHF kanalen)
- typische voorbeelden van marine radar (aan boord)
- de eigenschappen van de windturbines en enkele schepen



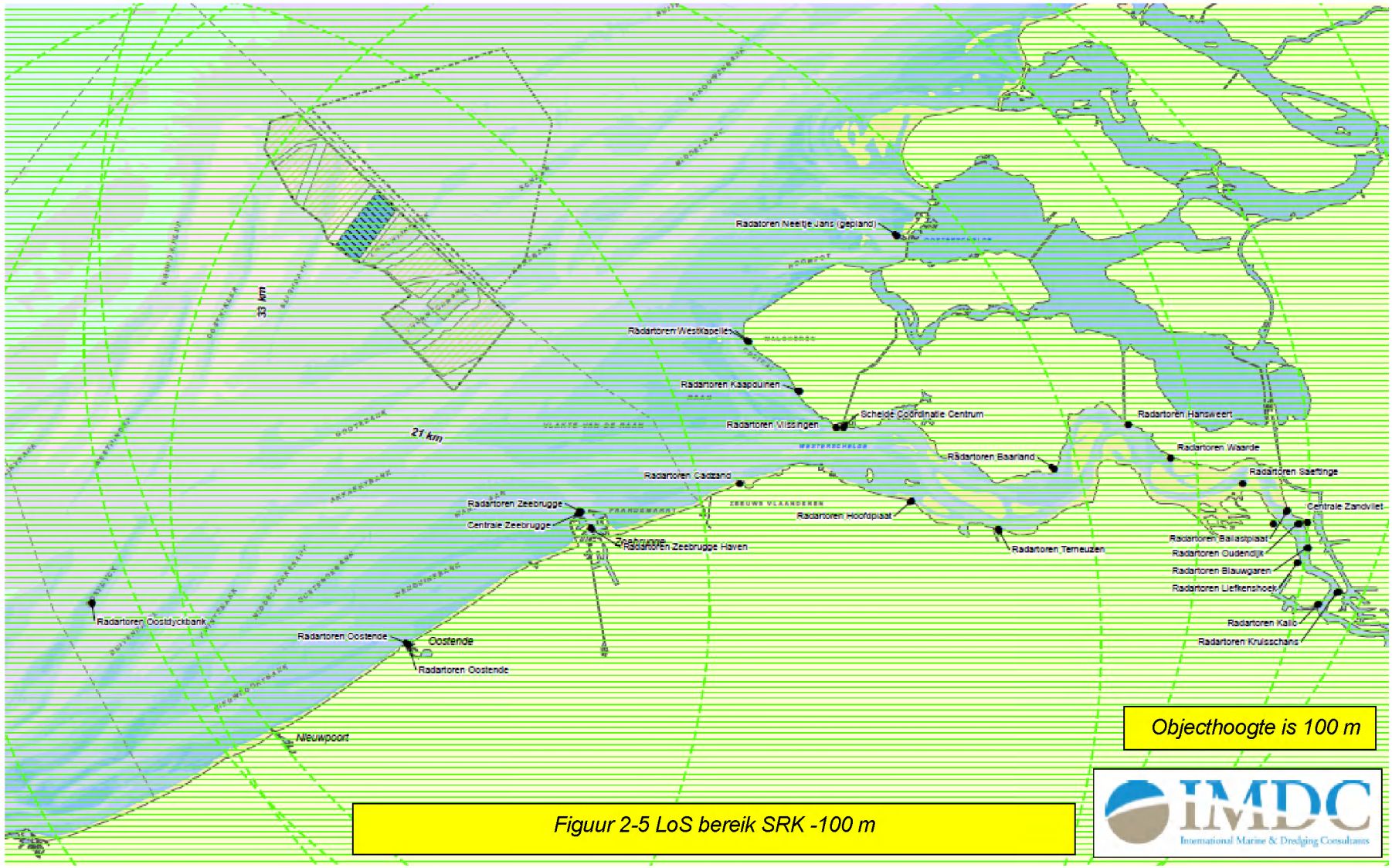
Figuur 2-2 LoS bereik SRK -3 m



Figuur 2-3 LoS bereik SRK -10 m



Figuur 2-4 LoS bereik SRK -20 m



Figuur 2-5 LoS bereik SRK -100 m

2.1 RADAR EN RADIOCOMMUNICATIE

Voor de gegevens qua inplanting, frequenties en vermogens wordt verwezen naar Tabel 2-2 voor de radarstations en Tabel 2-3, Tabel 2-4 en Tabel 2-5 voor de marifone installaties en systemen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het normale bereik van de SRK radar voor relatief grote schepen zowat 42 km bedraagt en voor zeer hoge objecten zelfs tot meer dan 70 km kan oplopen (zie verder 2.3). Dit betekent dat voor deze studie hoofdzakelijk dient rekening gehouden te worden met de radarposten van Oostende, Zeebrugge Cadzand en Westkapelle, zoals blijkt uit de afstanden tussen de radarstations en de offshore windparken in Tabel 2-1.

De windturbineparken zelf vallen daarenboven ook binnen de feitelijke waarnemingszones van de Oostdijckbank en Vlissingen, en in de toekomst ook van Neeltje Jans.

Alhoewel de betreffende zone van windparken op zee niet binnen het eigenlijke actieve werkingsgebied van VTS-SM en VTS-VK valt (zie Figuur 2-1), wordt het scheepvaartverkeer op de hoofdnavigatieroutes, toch nog gedeeltelijk door de radarposten van Zeebrugge Oostende en Westkapelle opgevolgd, en waarschijnlijk ook door Kaapduinen.

Voor de andere marifone systemen, dient telkens een analyse van het toepassingsgebied gemaakt te worden. Toch kan op voorhand gesteld worden dat het effectieve bereik van deze installaties op zowat 42 km dient geschat te worden, gegeven de hoogte van de antenne-masten en de kromming van de aarde (zie verder 2.3).

2.1.1 Gegevens van de SRK radarstations SCANTER 2001 en antenne CHL38

Tabel 2-2 Gegevens van de SRK radarstations

Locatie	Positie UTM (ED50)			Hoogte (m)		Zend-/Ontvang frequentie (MHz)	PRF (Hz) ± 10%	Pulsduur (ns)	Min. piekvermogen (kW)	Tangentiele bundelbreedte		Vertikale bundelbreedte		Gain (dB)	Polarisatie
	Zone	Northing	Easting		ref.					-3 dB	-20 dB	-3 dB	-10 dB		
Nederland															
Westkapelle	31	5709234	530687	44.1	NAP	9,170	2,000	200	25	0.265°	0.770°	15°	33°	35	vertikaal
Kaapduinen	31	5702975	536040	46.5	NAP	9,170	2,400	50	25	0.400°	1.100°	15°	33°	34	vertikaal
Vlissingen	31	5699173	539900	46.0	NAP	9,170	2,400	50	25	0.400°	1.100°	15°	33°	34	vertikaal
Cadzand	31	5693366	529762	30.5	NAP	9,170	2,000	200	25	0.265°	0.770°	15°	33°	35	vertikaal
België															
Oostende	31	5676454	494817	39.8	NAP	9,170	2,000	200	25	0.265°	0.770°	15°	33°	35	vertikaal
Zeebrugge	31	5690346	513062	35.2	NAP	9,170	2,000	200	25	0.265°	0.770°	15°	33°	35	vertikaal
Zeebrugge haven	31	5688601	514053	41.5	NAP	9,170	2,400	50	25	0.550°	1,5°	15°	33°	34	vertikaal
Oostdyckbank	31	5680750	461550	37.0	GLLS	9,375	2,204	250	25	0.270°	0.750°	15°	-	37	vertikaal

Hierbij dient genoteerd te worden dat in de nabije toekomst de volgende wijzigingen en uitbreidingen zullen gebeuren:

- Radarstation van Oostende: er wordt een nieuwe toren gebouwd waarbij de radarantenne op een hoogte komt van 58,5 m. De positie wordt N5676946.7 E494505.85 (ED50 UTM31). De eigenlijke radarinstallatie wordt behouden.
- Radarstation “Neeltje Jans”: nog op te richten in de Schelde, op de positie 546424.45 E 5719422.69 N (UTM31) met een vermoedelijke hoogte van 113 m. Momenteel wordt een antenne voorzien met een gain van 44 dBi en een radar met impulscompressietechniek.

Bij de uitbating van de SRK radarketen, dient ervan uitgegaan te worden dat het werkbare gebied telkens door 2 radarposten dient afgedekt te worden, dit in verband met de hoge graad van zekerheid van waarneming, die vereist wordt voor een veilig scheepvaartverkeer.

Zoals hoger reeds aangegeven, biedt de combinatie van het beschikbaar piekvermogen, en de gevoeligheid van de ontvanger, een theoretische reikwijdte van 42 km tot 60 km. Hierbij wordt rekening gehouden met de hoogte van de antennemast, de kromming van de aarde en de grootte van de schepen (zie verder 2.3). Dit resulteert in een realistisch bereik voor grote containerschepen van ongeveer 40 km, en voor de normale scheepvaart een bereik tussen 30 en 35 km.

De speling in afstand is functie van de “radardoorsnede” van de schepen. Meestal is er een speciale reflecterende voorziening aan boord, maar dan nog speelt de hoogte van ophanging een rol in verband met de zichtbaarheid achter de horizon, wegens de kromming van de aarde.

2.1.2 Gegevens van de RDF Direction Finders en AIS

Tabel 2-3 Gegevens van de RDF Direction Finders en AIS

Tel: +32 (0) 3320 996
Fax: +32 (0) 3320 9961

AIS Locaties België		VHF Transmitter (W)	Type transponder	Receiver sensitivity (dBm)
Radar Oostdijckbank	AIS	12	BS400	-107dBm
Mij. Brugse Zeevaartinrichting	AIS	12	BS400	-107dBm
Radar Oostende	AIS	12	BS400	-107dBm
Locaties nl				
Radar Westkapelle	AIS	12	BS400	-107dBm

RDF Locaties België		Radio Direction Finder	Digital Frequency Converter
Zeebrugge	RDF	X	X
Nieuwpoort	RDF	X	X

2.1.3 Gegevens van het DGPS systeem

Tabel 2-4 Gegevens van het DGPS systeem

Locatie	Positie UTM(ED50)			Kanaal nr.	Frequentie (kHz)	Range		Zend-vermogen (W)	Richting	meet-onzekerheid (σ_2)
	Zone	Northing	Easting			km	n.m.			
Oostende	31	5676572	495283	57	312,0	220	119	80	omnidirectioneel	0,142m op de baken positie

2.1.4 Typische gegevens van een scheepsradar

Een scheepsradar heeft typisch een piekvermogen van 10 kW. Een typische frequentie is 9410 MHz +/- 30 MHz. Voor de eenvoud van berekeningen wordt in deze studie een frequentie van 10 GHz aangehouden (golflengte 3 cm).

Een typische scheepsradarantenne heeft daarbij de volgende karakteristieken:

- horizontale polarisatie
- gain hoofdlobe: 30 dBi
- horizontale bundelbreedte: 2°
- verticale bundelbreedte: 25°
- zijlobe onderdrukking: 25 dB
- ruisniveau van de ontvanger: - 119 dBW (-89 dBm)

Uit de verschillende overzichten is het duidelijk dat er twee frequentiegroepen zijn, die in deze studie dienen in aanmerking genomen te worden voor de vaste installaties: rond 9 GHz voor de radarfrequenties, en tussen 150 en 165 MHz voor de radiocommunicatie kanalen. Ook het AIS systeem gebruikt ditzelfde frequentiegebied (voorzien is 162 MHz).

2.1.5 Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen

Tabel 2-5 Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TX/RX	Antenne-vermogen (ERP dbm)	Antenne Gain (dB)	Demping splitter	externe demping	Kabel demping	Zender-vermogen (dbm)	Vermogen uit kast (dbm)	Antenne kabel lengte (m)	Gevoeligheid ontvanger (dbm)	Richting hoofdas antenne	Openings hoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werkings gebied	Opmerkingen
België																		
Vuurtoren Oostende	4	160,800	TX	44,0	8	4,00	0,00	0,99	40,99	36,99	66,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	6	156,300	TX	44,0	8	4,00	0,00	0,99	40,99	36,99	66,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	8	156,400	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	67,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	60	160,625	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	67,00	nvt	290°	62°	K 52 32 21	60	ZB1	
	65	160,675	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	68,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	93H	162,275	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	68,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
Vuurtoren Oostende	16	156,800	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
MRCC	67L	156,375	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
Radartoren Oostende	4	156,200	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	60	156,025	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB1	
	65	156,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	93H	162,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
Radartoren Oostende	16	156,800	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
MRCC	67L	156,375	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
Radartoren Zeebruggehaven	4	160,800	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3	
	6	156,300	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3,ZB4	
	8	156,400	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3,ZB4	
	19	161,550	TX	20,0	3	4,00	20,00	0,59	41,59	17,59	39,00	nvt	160°	170°	K 53 19 21	20	ZB4	
	62	156,475	TX	41,8	8	4,00	0,00	0,75	38,55	34,55	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	45	ZB3	
	71	156,575	TX	20,0	3	4,00	20,00	0,59	41,59	17,59	39,00	nvt	160°	170°	K 53 19 21	20	ZB4	
	93H	162,275	TX	40,4	8	4,00	0,00	0,75	37,15	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	45	ZB3	
Radarcentrale Zeebrugge	4	156,200	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3,ZB4	
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3,ZB4	
	9	156,450	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	130°	170°	K 53 19 21	15	ZB4	
	19	156,950	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-89,00	130°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	62	156,425	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-113,00	130°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	62	156,475	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-110,80	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3	
	71	156,575	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-89,00	130°	170°	K 53 19 21	15	ZB4	
	93H	162,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3	
Brug Zelzate	6	156,300	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	8	156,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	10	156,500	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	11	156,550	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
Gent DAB Loodswezen	10	156,500	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
	11	156,550	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
	67	156,375	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
Fort Ilofkenshoek	66	160,925	TX	44,00	8	1,00	0,00	0,60	37,60	36,60	14,70	nvt	125°	62°	K 52 32 21	18	ZV4	
		156,325	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,60	nvt	nvt	14,70	-113,00	125°	62°	K 52 32 21	18	ZV4	
Prosperpolder	4	160,800	TX	30,00	4	1,00	10,00	0,62	37,62	26,62	15,00	nvt	80°	170°	K 53 18 21	12	ZV3	
		156,200	RX	nvt	4	nvt	nvt	0,62	nvt		15,00	-113,00	80°	170°	K 53 18 21	12	ZV3	
Beluchtingsgebouw Waasland	10	156,500	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,49	nvt	nvt	12,00	-110,80	215°	63°	K 52 07 21	35	WT1	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,49	nvt	nvt	12,00	-110,80	215°	63°	K 52 07 21	35	WT1	
Sluis wintam	6	156,300	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
	8	156,400	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
	10	156,500	TX	41,80	8	4,00	0,00	3,10	40,90	36,90	75,50	nvt	20°	63°	K 52 07 21	25	WT1	
	67	156,375	TX	41,80	8	4,00	0,00	3,10	40,90	36,90	75,50	nvt	20°	63°	K 52 07 21	25	WT1	
Kruisschans	6	156,300	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	8	156,400	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	12	156,600	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	67	156,375	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
Radarcentrale Zandvliet	6	156,300	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	8	156,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	12	156,600	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TX/RX	Antenne-vermogen (ERP dBm)	Antenne Gain (dBi)	Demping splitter	externe demping	Kabel demping	Zender-vermogen (dBm)	Vermogen uit kast (dBm)	Antenne kabel lengte (M)	Golflengte in ontvanger (µV)	Richting hoofdas antenne	Openings hoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werkings gebied	Opmerking
Nederland																		
Vuurtoren Westkapelle	5	150,450	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,00	37,00	33,00	22,50	m	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	23L	157,450	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,00	37,00	33,00	22,50	m	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	24	160,825	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,00	37,00	33,00	24,00	m	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	27	160,575	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,00	37,00	33,00	24,00	m	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
Radartoren Westkapelle	5	150,500	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-115,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	8	150,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-115,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	9	156,450	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	12	160,600	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-115,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	23L	157,450	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	24	160,825	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	27	160,575	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,00	nvt	nvt	15,50	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
Stuw Westkapelle	5	150,500	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
	5	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
Domburg	5A	161,850	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
Radartoren Vlissingen Boulevard	14	160,700	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,74	37,26	19,76	17,50	m	150° - 270°		K 52 07 21	35	VL2	al op 5 X antenne
	21	161,050	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,74	37,26	19,76	17,50	m	150° - 270°		K 52 07 21	35	VL2	al op 5 X antenne
	23L	157,450	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,74	37,26	19,76	17,50	m	120° - 270°		K 52 07 21	35	VL2	al op 2 X antenne
	40	160,000	TX	24,00	9	7,50	10,00	0,74	30,24	21,74	15,00	m	200°	170°	K 52 19 21	35	VL2	
	27	160,125	TX	24,00	9	7,50	10,00	0,74	30,24	21,74	15,00	m	200°	170°	K 52 19 21	35	VL2	
	70H	161,125	TX	24,00	9	7,50	10,00	0,74	30,24	21,74	15,00	m	200°	170°	K 52 19 21	35	VL2	
Radarcentrale Vlissingen	MANTEX	0,515	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	1,50	nvt	nvt	31,50	m	0 m		AAU 1	NVT	NVT	
	5	150,500	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	40,50	-115,00	200°	170°	K 52 19 21	39	VL2	
	8	150,400	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	40,50	-115,00	200°	170°	K 52 19 21	39	VL2	
	9	156,450	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-115,00	120°	170°	K 52 19 21	35	VL2,ML3	
	14	160,700	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	40,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	39	VL2	
	12	160,600	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	40,50	-115,00	200°	170°	K 52 19 21	39	VL2	
	21	161,050	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	38	VL2	
	23L	157,450	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	38	VL2	
	40	160,000	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	38	VL2	
	27	160,575	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	38	VL2	
	70H	161,125	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 52 19 21	38	VL2	
Radarcentrale Terneuzen	5	150,150	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-100,00	0°	170°	K 52 19 21	23	TN1	
	5	150,500	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	32,00	-115,00	0° - 180°		zie opmerking	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	8	150,400	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	32,00	-115,00	0° - 180°		zie opmerking	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	11	150,550	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	32,00	-125,00	180°	63°	K 52 07 21	23	TN2	
	14	160,700	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-100,00	0°	170°	K 52 19 21	23	TN1	
	27	160,575	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,01	nvt	nvt	32,00	-100,00	0° - 180°		zie opmerking	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70H	161,125	RX	nvt	9	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-100,00	0°	170°	K 52 19 21	23	TN1	
Terneuzen Sas August de Meijer	5	150,150	TX	25,0	8	1,50	10,00	1,73	41,23	53,73	91,00	m	0°	170°	K 52 19 21	40	TN1	
	11	150,550	TX	25,0	8	1,03	20,00	1,73	56,73	16,73	91,00	m	180°	63°	K 52 07 21	40	TN2	
	14	160,700	TX	25,0	9	7,53	10,00	1,73	41,23	53,73	91,00	m	0°	170°	K 52 19 21	40	TN1	
	27	160,575	TX	25,0	8	4,03	20,00	1,73	43,73	16,73	91,00	m	0° - 180°	VB	zie opmerking	40	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70H	161,125	TX	25,0	9	7,50	10,00	1,73	41,23	53,73	91,00	m	0°	170°	K 52 19 21	40	TN1	
Stuw Terneuzen	5	150,500	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
	5	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
	69	160,475	TX/RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bedrijfsterrein	Aanhoppelijk stuurkanaal
Centrale Hansweert	5	150,500	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-115,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
	8	150,400	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-115,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
	12	160,600	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-120,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
	25	160,275	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-120,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
	27	160,575	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-120,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
	70H	161,125	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-100,00	345°	118°	K 52 19 21	23	HW1	
Centrale Sluis Organisme Hansweert	14	160,700	TX	25,0	9	7,53	20,00	1,27	48,77	31,27	91,00	m	225°	170°	K 52 19 21	23	HW1	
	25	160,275	TX	25,0	9	7,53	20,00	1,27	48,77	31,27	91,00	m	225°	170°	K 52 19 21	23	HW1	
	27	160,575	TX	25,0	9	7,53	20,00	1,27	48,77	31,27	91,00	m	225°	170°	K 52 19 21	23	HW1	
	70H	161,125	TX	25,0	9	7,50	20,00	1,27	48,77	31,27	91,00	m	225°	170°	K 52 19 21	23	HW1	
Radartoren Wilhelmina	5	150,500	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,67	nvt	nvt	40,50	-100,00	215°	118°	K 52 19 21	25	ZW1	
	5	161,500	TX	25,0	4	1,03	20,00	1,67	41,23	20,07	40,50	m	215°	118°	K 52 19 21	25	ZW1	
	21	157,050	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,00	-107,00	125°	63°	K 52 32 21	25	ZW2	
	21	161,050	TX	24,0	8	1,00	20,00	1,75	50,50	12,50	42,00	m	125°	63°	K 52 32 21	25	ZW2	

2.2 WINDTURBINES

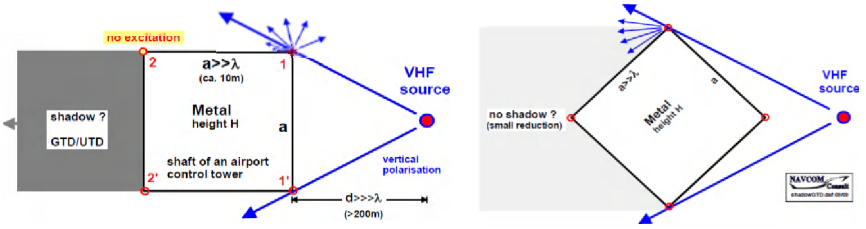
Op het ogenblik van deze studie is het merk en type van windturbine dat zal geplaatst worden in het windmolenpark “SeaStar” nog niet definitief bekend. Toch kan ervan uitgegaan worden dat de windturbine ongeveer de volgende kenmerken zal hebben:

Voorbeeld type WT	Samsung (7 MW)	Vestas V164 (8 MW)	Areva (5 MW)
masthoogte	110 m	107 m	95 m
Mastdiameter voet	10 m	10 m	10 m
Mastdiameter top	8 m	6 m	5 m
rotordiameter	171 m	164 m	135 m
gondel	15 x 6 x 5 m (vermoedelijke afmetingen)		
wieken	Kunststofmateriaal, met interne bliksemafleider		

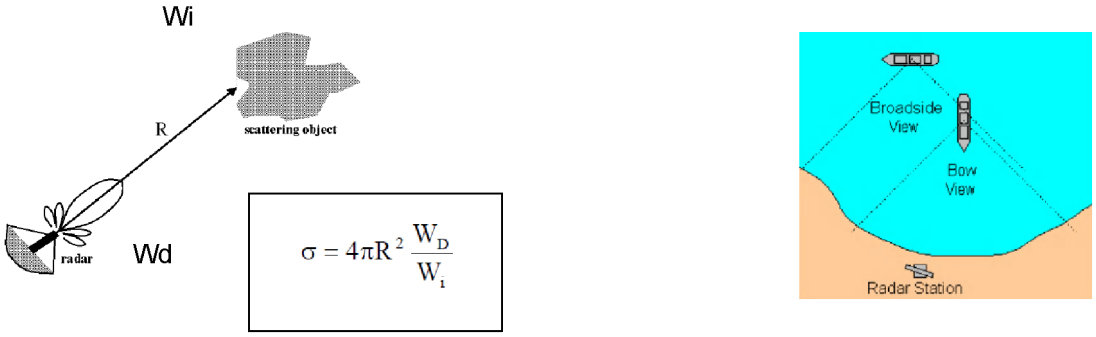
Uit voorgaande studies voor SRK blijkt dat voor dergelijke grote windturbines de mast de dominante factor vormt bij marifone systemen. Dit komt ondermeer door het feit dat de verschillende systemen in een zeevaart-omgeving steeds een radiopad beslaan tegen het aardoppervlak. Maar ook dat zowel de gondel als de wieken een beduidend kleinere “effectieve” radar/radio doorsnede (RCS of ook Radar Cross Section) uitmaken dan de mast zelf. Uit voorgaande studies en beschikbare literatuur omtrent de mogelijke invloed op radarsystemen, blijkt voldoende dat de mast een dominant effect met minstens 10 à 15 dB voorstelt (Rashid, 2007). Toch dient het effect van de rotor meegenomen te worden als een soort “clutter”, door de wisselende reflectie in functie van zowel de pitch en yaw, en de ogenblikkelijke positie van de ronddraaiende rotor.

Gegeven de -3 dB openingshoek van de radarbundel en de afstand tussen de radarstations en het windturbinepark, zal de keuze van de windturbine geen wezenlijk verschil uitmaken naar de mogelijke impact op de radarsystemen. De turbinemasten worden namelijk tijdens de rotatie van de radarbundel, voldoende lange tijd volledig door de bundel bestraald (diameter windturbinemast << bundelbreedte van de radar), zodat zonder meer het diffractiemodel kan toegepast worden. In de onderstaande Figuur 2-6 wordt daarbij ook het verschil aangegeven van een vlakke structuur en een opstelling waarbij de schaduwzone achter het object beperkt wordt. Dit laatste kan gezien worden als een eenvoudig model van een circulaire doorsnede.

De reflectie door een object wordt gegeven door de “effectieve oppervlakte” σ (Radar Cross Section of kortweg RCS) van het object te definiëren die het invallende signaal terugkaatst. Dit verschijnsel wordt geschetst in Figuur 2-7, voor een verschillende oriëntatie van een schip.



Figuur 2-6 Schematische voorstelling van de diffractie eigenschappen van sommige structuren



Figuur 2-7 Schematische voorstelling van de reflecterende eigenschappen van een structuur (RCS)

Verder zal de radarbundel van de SRK radarstations ook in de hoogte de rotor bestrijken. Dit zal een wisselende waarde voor de RCS van de windturbines tot gevolg hebben, die zich als een vorm van 'clutter' kan manifesteren.

Heel wat studies en gegevens zijn bekend voor de radartoepassingen in de luchtvaart (ATC) in de frequentieband S-band (3 GHz). Een aantal studies (o.a. uitgevoerd door Qinetiq, Navcom en EADS/Cassidian), en gebaseerd op zowel simulaties als metingen in de praktijk (weliswaar op slechts een paar types windturbines), geven een gemiddelde waarde voor dit frequentiegebied en worden bij wijze van voorbeeld hieronder aangegeven.

Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de RCS waarde daarbij erg afhankelijk is van zowel de pitch als de yaw van de windturbine met betrekking tot de invallende radarsignalen.

Een typisch voorbeeld uit een Qinetiq studie (Poupart,2003) wordt gegeven in de volgende figuur, waarbij ook nog duidelijk is dat de RCS varieert in functie van de tijd (of dus het ronddraaien van turbinebladen).

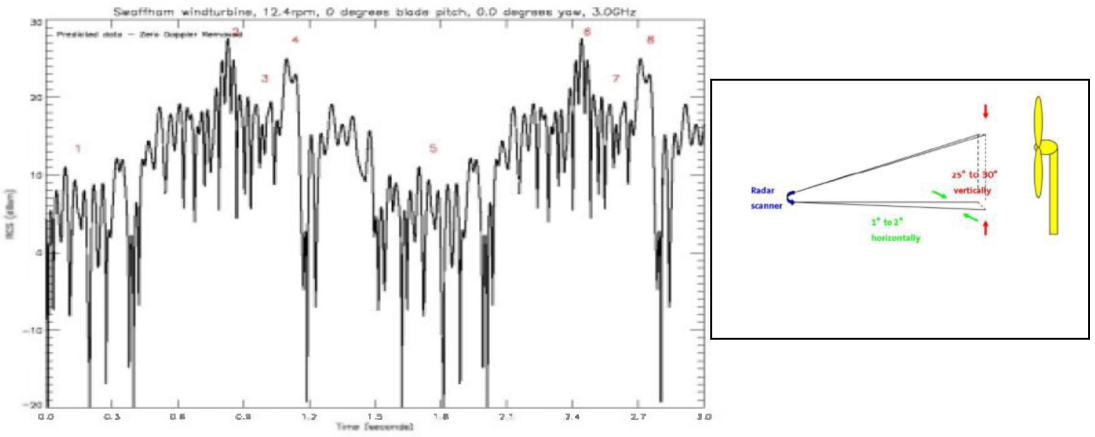
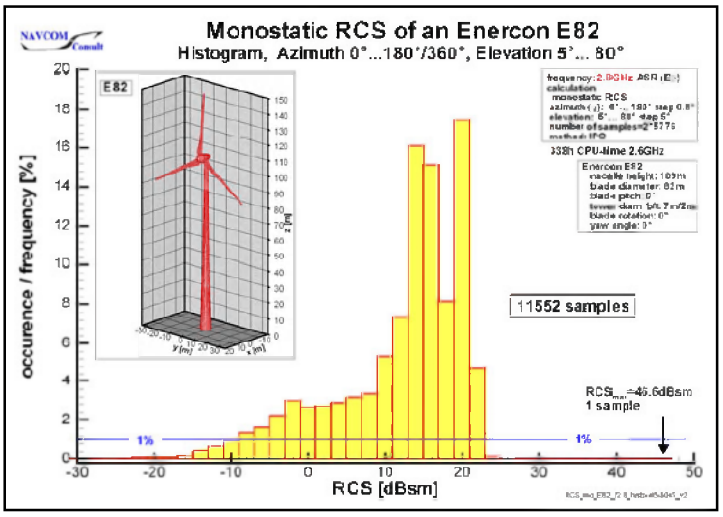


Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

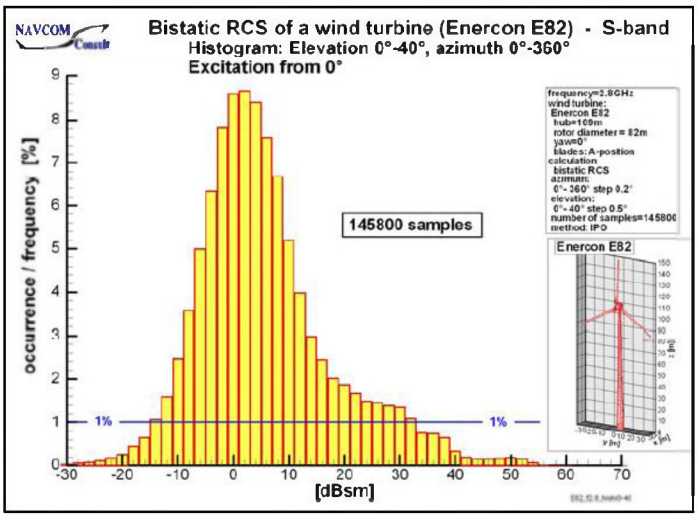
Figuur 2-8 Voorbeeld van de wisselende RCS waarden van een windturbine bij draaiende rotor (Poupart, 2003)

Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat de voorgestelde windturbines een conische mast hebben, waarvan de RCS als eerder klein mag beschouwd worden, en dat in tegenstelling tot een cilindrische vorm met een aanzienlijke RCS (zie literatuur in referentie).

Een gelijkaardige studie werd gedaan voor een Enercon E82 door Navcom (Greving, 2007).



Figuur 2-9 Distributie van de monostatische RCS voor een windturbine (Greving, 2007).

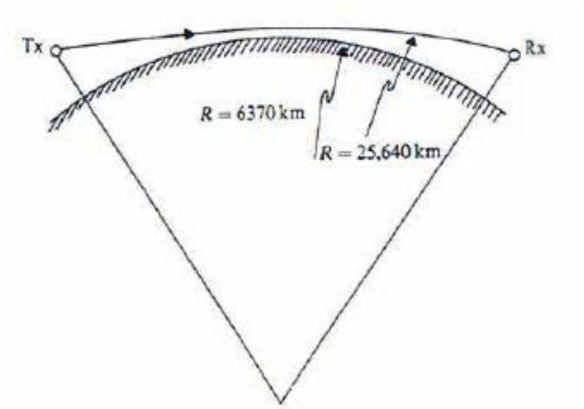


Figuur 2-10 Distributie van de bistatische RCS voor een windturbine (Greving, 2007).

Verder kan gesteld worden dat in het frequentiegebied X-band (rond 10 GHz), een windturbine een gemiddelde RCS zal hebben die tussen 20 dBsqm (of dus 100 m^2) en 30 dBsqm (of dus 1000 m^2), en met mogelijke korte piekwaarden tot 40 en zelfs 50 dBsqm (10000 m² tot 100000 m²) voor de monostatische RCS en met een gemiddelde tot 20 dBsqm (100 m²) voor de bistatische RCS.

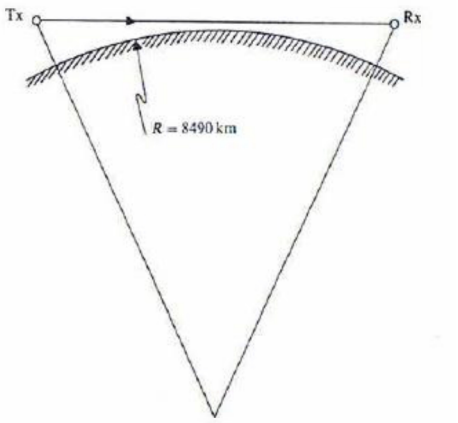
2.3 BEREIK VAN DE SRK RADAR

Omdat de radarantennes voor de waarneming van het scheepvaartverkeer op de horizon gericht zijn, dient dus rekening gehouden met de kromming van het aardoppervlak. Daarenboven dient ook rekening gehouden met het feit dat onder deze omstandigheden een radiosignaal zich niet in rechte lijn voortplant, maar lichtjes afgebogen wordt door de effecten van de troposfeer. In de literatuur wordt een model met een ‘standaard lineaire atmosfeer’ gebruikt, wat een gebogen radiovoortplanting geeft met een straal van 25.640 km.



Figuur 2-11 Afgebogen propagatie van radiostralen rond de aarde

Voor de eenvoud van rekenen en plannen wordt nu een model van de aarde gebruikt, waarbij de radiopropagatie toch in rechte lijn gebeurt, met een 'virtuele' straal van 8490 km voor de aardbol. Een en ander wordt in Figuur 2-11 en Figuur 2-12 schematisch weergegeven.



Figuur 2-12 Virtuele of effectieve kromming van de aarde met rechtlijnige radiopropagatie

Afgezien van het technische bereik van de radar in functie van het vermogen van de zender, de gevoeligheid van de ontvanger en de RCS (Radar Cross Section) van de objecten, kan hieruit dus een a priori reikwijdte afgeleid worden.

Tabel 2-6 Theoretische reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

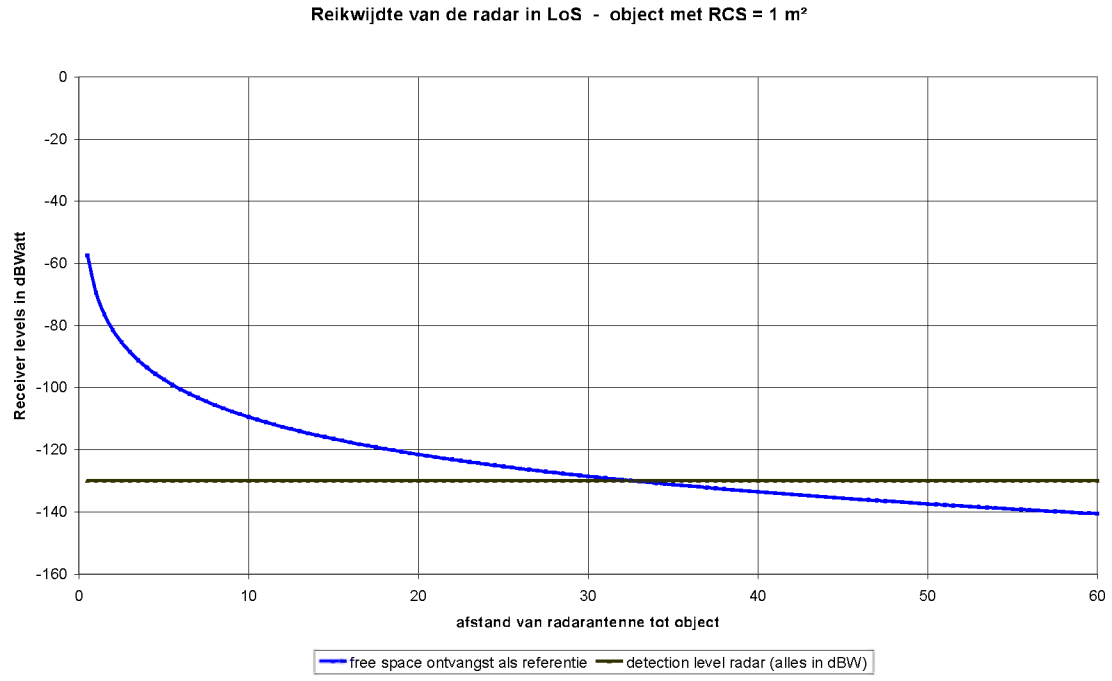
Hoogte Tx	Hoogte Object			
	3 m	10 m	20 m	100 m
30 m	29,5 km	35,5 km	40,5 km	63,5 km
40 m	33 km	39 km	44 km	67 km
50 m	36 km	42 km	47 km	70 km
60 m	39 km	45 km	50 km	73 km
110 m	50 km	56 km	61 km	84 km

De volgende figuren geven het bereik van de SRK radar onder de conditie van een vrije Line of Sight (LoS) onder de volgende condities:

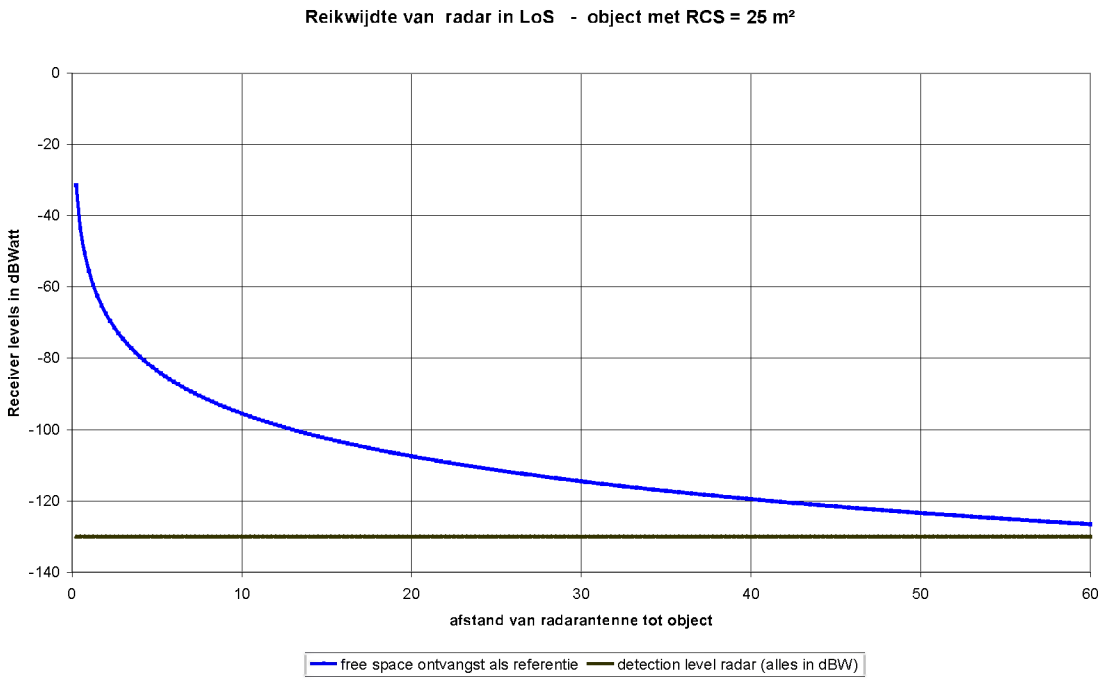
- piekvermogen van de radar: 25 kWatt
- gain van de antenne: 35 dBi
- pulsduur van het signaal: 200 nsec
- bijhorende IF bandbreedte: 8 MHz
- noise floor van de ontvanger: - 129 dBW (-99 dBm)

De reikwijdte onder LoS wordt telkens berekend in functie van vier verschillende waarden voor de RCS van de waar te nemen objecten: 1 m², 25 m², 100 m² en 1000 m². Dit stemt overeen met een gamma van een zeer kleine boot tot grote containerschepen, en waarbij de RCS van een windturbine typisch rond 250 m² (23 dBsqm) dient ingeschat te worden. Hierbij kan opgemerkt worden dat een RCS waarde van 25 m² een referentie is die bij SRK gebruikt wordt als snelle toets voor de evaluatie van de systemen. De reikwijdtes werden ook reeds grafisch voorgesteld op de kaarten van Figuur 2-2, Figuur 2-3, Figuur 2-4 en Figuur 2-5.

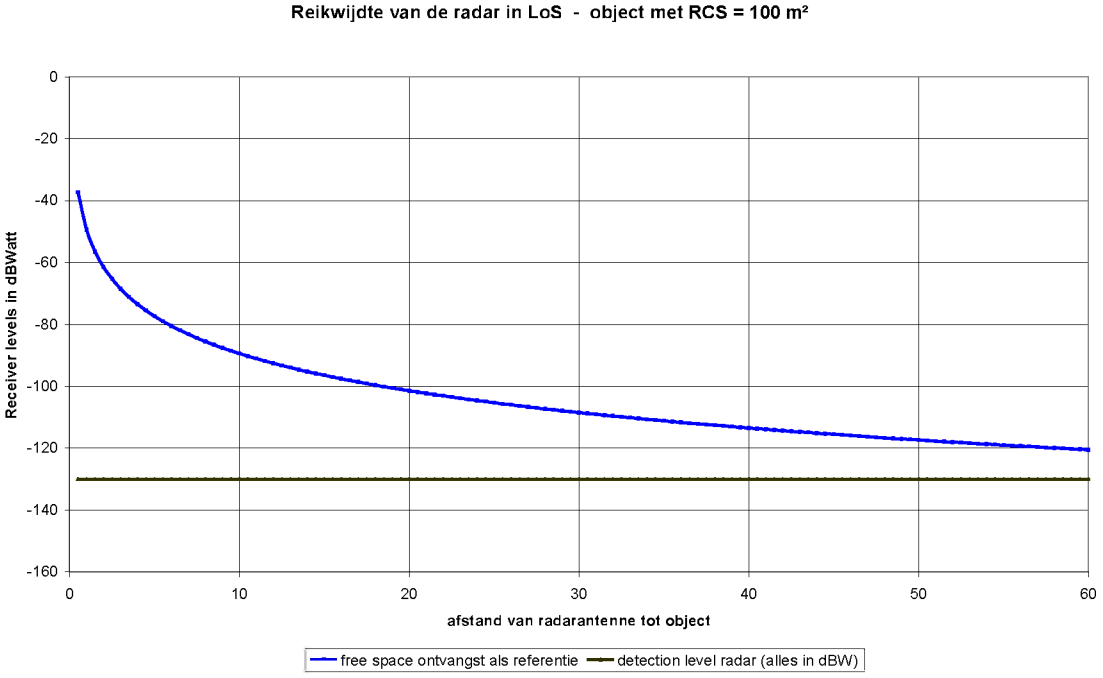
Een trihedral hoekreflector kan ingeschat worden op een RCS van 100 m² en bij een zeer groot containerschip of cruiseschip kan de RCS zelfs oplopen tot 10 000 m² wanneer de zijkant naar de radar gekeerd is. Zie ook sectie 2.4 voor typische RCS waarden van enkele schepen.



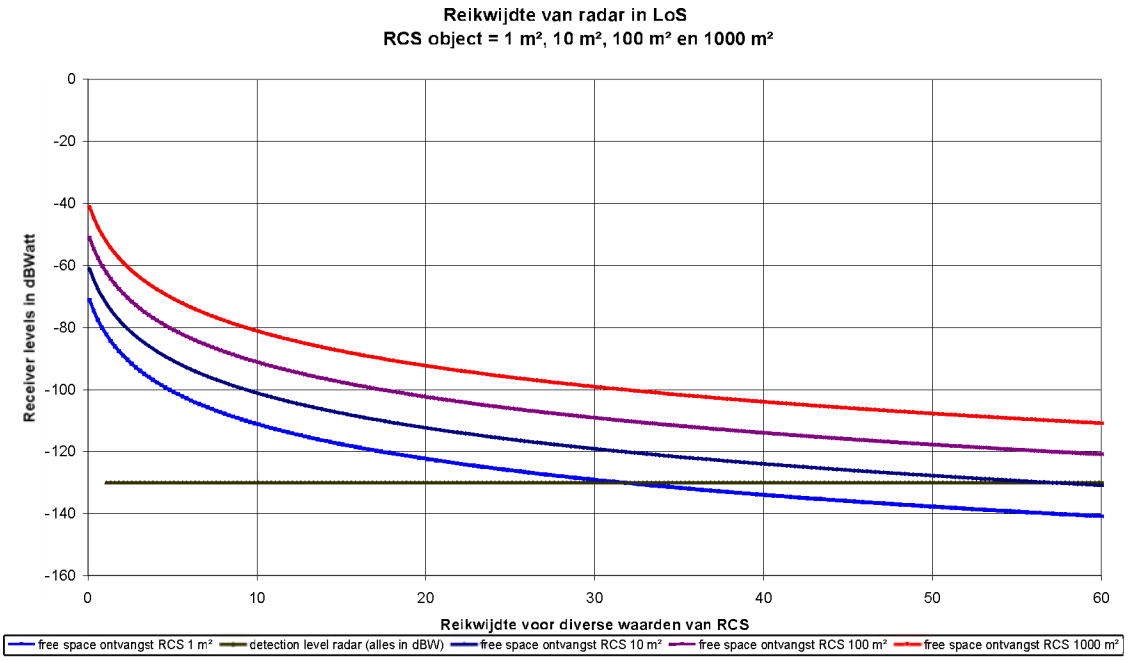
Figuur 2-13 Reikwijdte bij een RCS van 1 m²



Figuur 2-14 Reikwijdte bij een RCS van 25 m²



Figuur 2-15 Reikwijdte bij een RCS van 100 m²



Figuur 2-16 Reikwijdte: vergelijking bij diverse waarden van RCS (lichtblauw: 1 m², donkerblauw: 10 m², paars: 100 m², rood: 1000 m²)

Uit de voorgaande analyse en simulatie blijkt dat, behalve voor zeer kleine objecten, de beperking in reikwijdte voortkomt uit de geometrische parameters en niet van de eigen technische radarparameters. Maar er blijkt ook dat de windturbineparken (masthoogte van de windturbines is gemiddeld 100 m en een tiphoogte van 150 m, met een RCS van 100 m² - Figuur 2-15) tot op een afstand van zowat 70 km waarneembaar blijven.

De geometrische reikwijdtes of dus LoS (in km) in functie van de hoogte van de objecten werden reeds in Figuur 2-2 tot Figuur 2-5 weergegeven, met volgende gegevens :

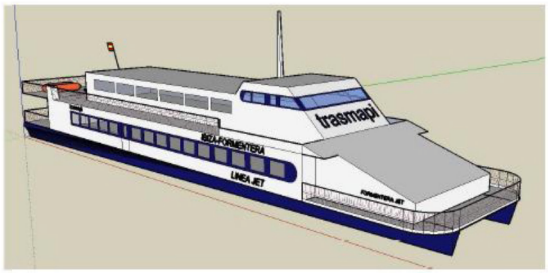
Tabel 2-7 LoS reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

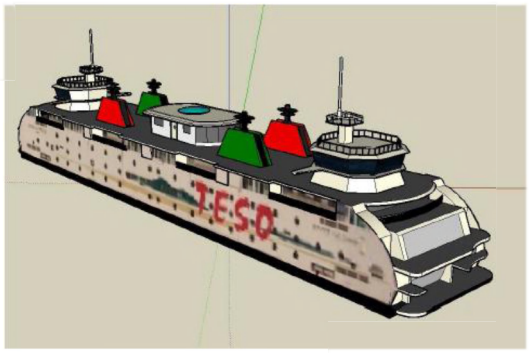
SRK station	masthoogte	schip 3 m	schip 10 m	schip 20 m	WT 100 m
Oostdyckbank	37 m	33 km	39 km	44 km	65 km
Oostende	58 m	39 km	45 km	50 km	73 km
Zeebrugge	40 m	33 km	39 km	44 km	65 km
Cadzand	30 m	30 km	35 km	40 km	60 km
Westkapelle	45 m	34 km	40 km	45 km	70 km
Neeltje Jans	110 m	50 km	56 km	61 km	84 km

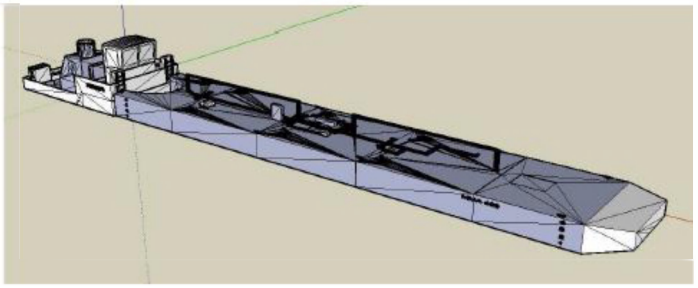
Uit voorgaande tabellen en grafieken blijkt dat voor de meeste schepen en objecten, de geometrische LoS afstand bepalend is voor het feitelijke bereik van de radar. Hierbij dient gewezen op het gecombineerde feit dat schepen met kleine hoogte ook meestal een kleinere RCS zullen hebben.

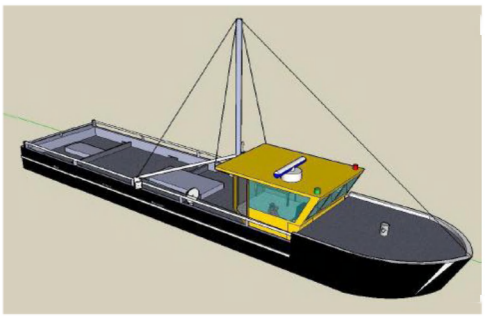
2.4 RCS VAN SCHEPEN

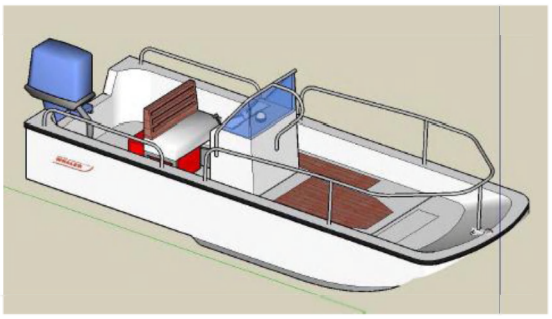
In de literatuur zijn ook een paar voorbeelden bekend van numerieke simulaties omtrent de Radar Cross Section (RCS) van enkele typische (kleinere) schepen. Sommige resultaten worden hierbij ter informatie weergegeven (TSC, 2008).











Vessel	Length (m)	Height (m)	Peak RCS (dBsm)	Nominal RCS (dBsm)
Boston Whaler	7.2	2.4	46	3
Traditional Ferry	71.6	16.8	61	25
Fishing Boat	10.7	4.7	53	22
High Speed Ferry	43.7	11.6	84	15
Oil Barge with Tug	116.8	11.2	66	35

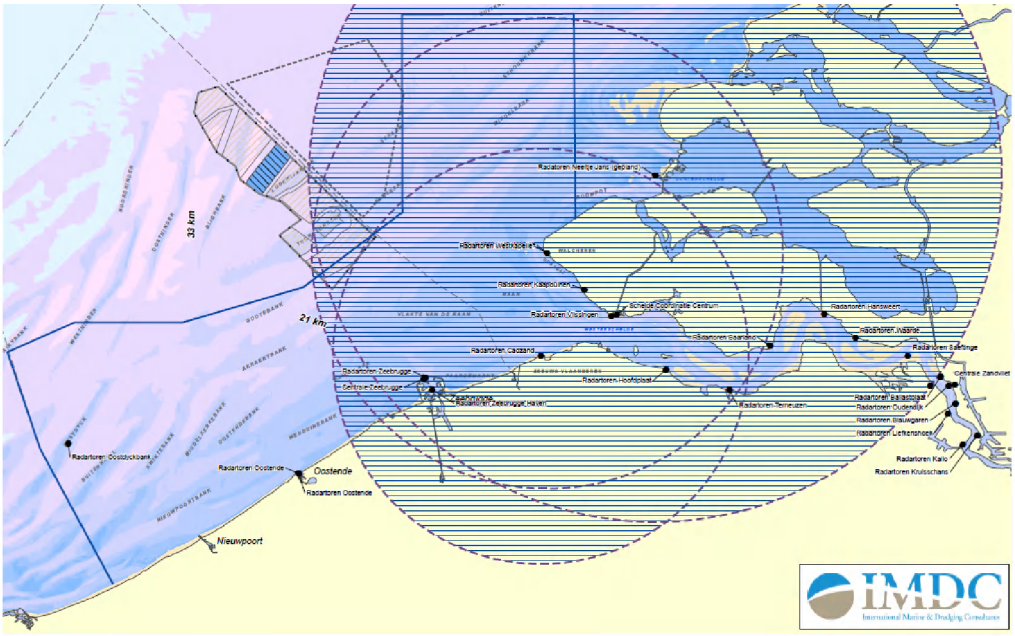
2.5 GRENSOVERSCHRIJDENDE UITBREIDINGEN VAN HET RADAR EN VHF NETWERK

In de nabije toekomst worden twee uitbreidingen van het SRK netwerk voorzien: een bijkomend radarstation “Neeltje Jans” en een VHF relaisstation op het OHVS platform van het offshore windpark Belwind. Teneinde de toekomstige toestand op een gepaste manier reeds in te schatten, wordt hieronder een omschrijving van deze toekomstige uitbreidingen uitgewerkt.

2.5.1 Bijkomend radarstation “Neeltje Jans” (ter hoogte van de Oosterschelde)

Zoals eerder reeds vermeld is er onder bepaalde condities een gedeelte van het wettelijk vastgelegde SRK werkingsgebied dat momenteel niet zichtbaar is. Dit wordt weergegeven in de Figuur 2-17, voor een LoS bereik van 3m objecthoogte. Maar ook onder condities van een voldoende kleine RCS waarde is een gedeelte van het SRK werkingsgebied niet zichtbaar.

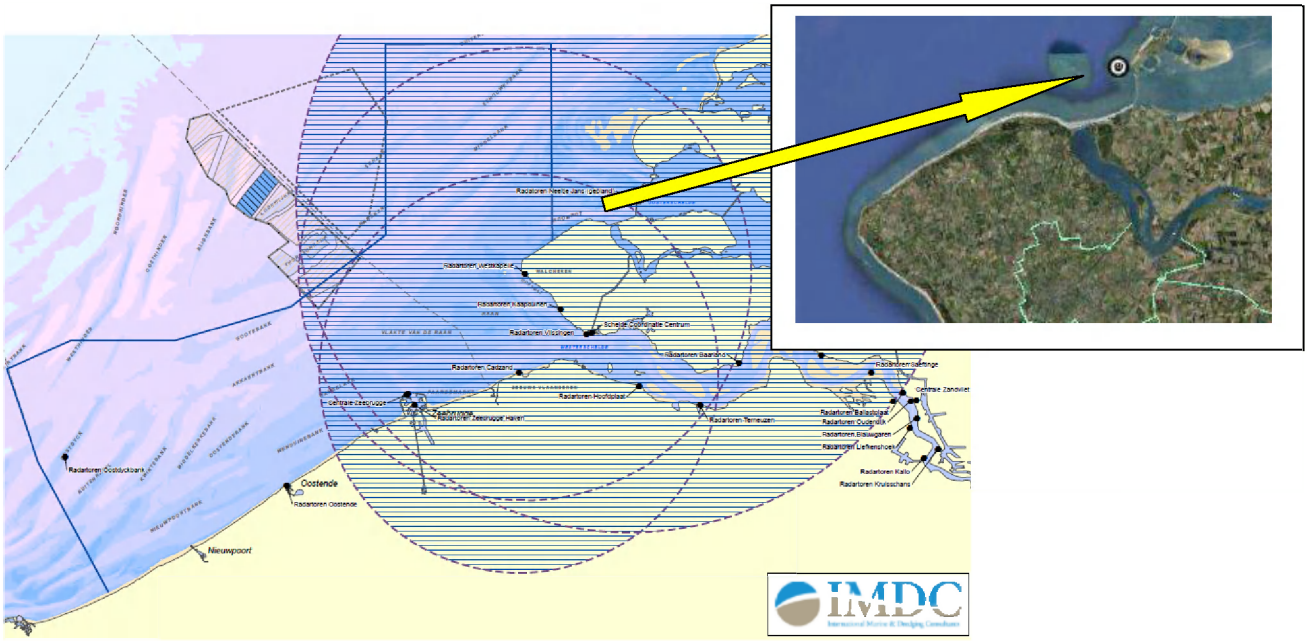
Om hieraan tegemoet te komen was in het verleden reeds het plan opgevat om een bijkomend radarstation op te richten, namelijk op de Schouwenbank. Dit project is heden niet meer aan de orde, en werd, na uitgebreide haalbaarheidsstudies, vervangen door een bijkomend radarstation “Neeltje Jans” ter hoogte van de Oosterschelde.



Figuur 2-17 Beperkte reikwijdte van de Nederlandse SRK radarstations (LoS hoogte van 3 m)

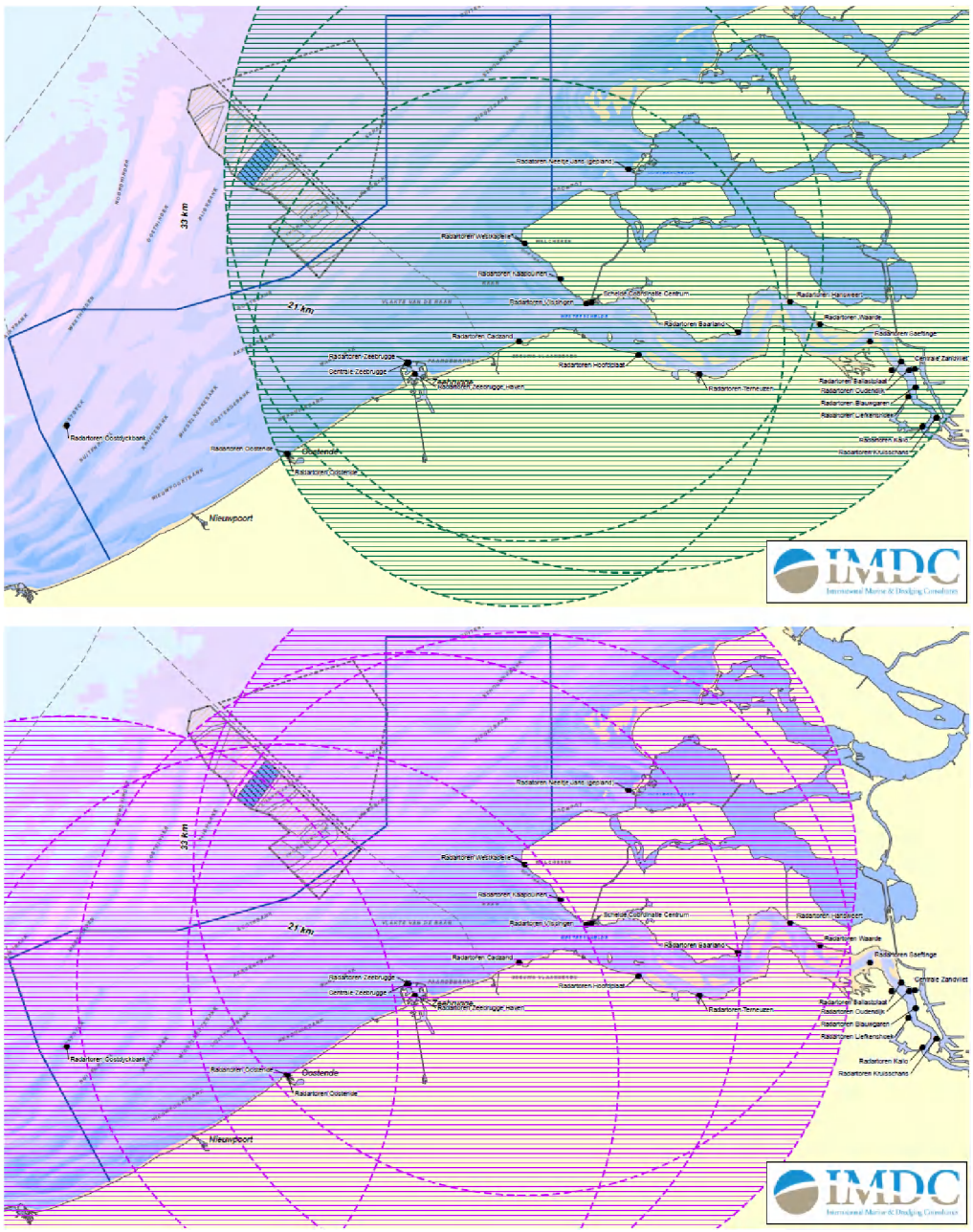
Alhoewel dit bijkomende radarstation “Neeltje Jans” nog volledig in de planningsfase is (operationeel 2de helft 2015), zijn hieronder toch een aantal gegevens beschikbaar:

- positie UTM31: 546424.54 E 5719422.39 N
- hoogte van de antenne: 113 m NAP
- antenne type: vermoedelijk CHL 44 dBi gain
- vermogen: vermoedelijk 25(50)W pulscompressie (equivalent 50 kW)
- realisatie: 2014 – 2015



Figuur 2-18 Uitbreiding van de reikwijdte van de SRK radarstations door Neeltje Jans (LoS 3m)

Dit bijkomende radarstation zal een nog grotere reikwijdte hebben ten opzichte van grotere schepen met een voldoende grote RCS. Voorbeelden worden in Figuur 2-19 gegeven voor een LoS hoogte van 20 m en voor een RCS waarde van 25 m².



Figuur 2-19 Reikwijdte van de SRK radarstations, voor de Nederlandse stations bij een LoS van 20 m (boven) en voor het volledige radarnetwerk bij een RCS van 25 m² (indien LoS voldoende is)

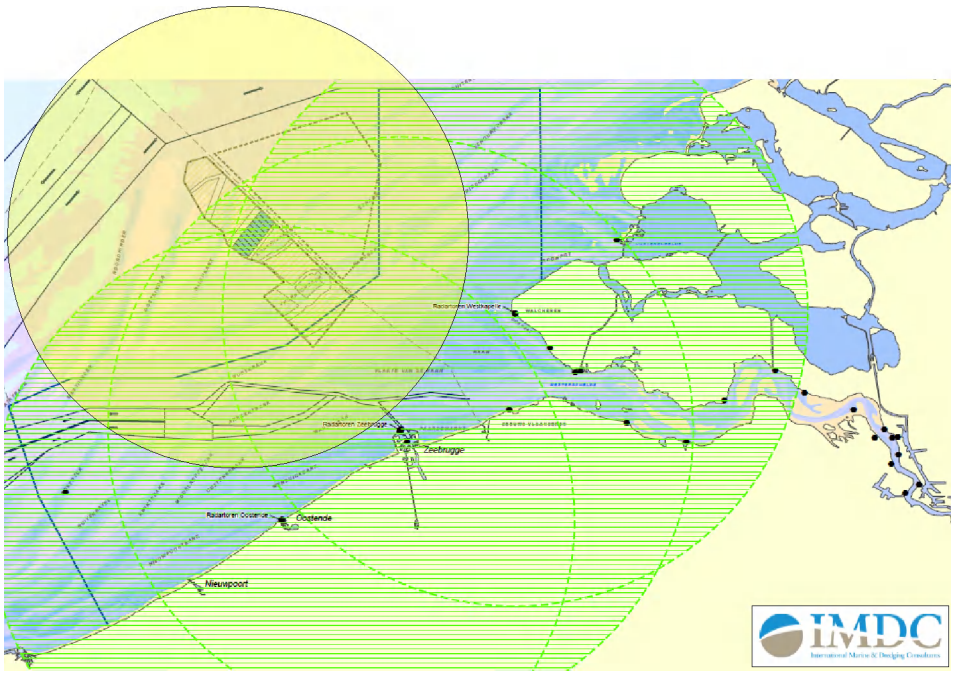
Het is hierbij duidelijk dat het bijkomende radarstation “Neeltje Jans” geen feitelijke bijdrage levert voor de waarnemingen van het gebied waar de Vlaamse radarstations actief zijn. Naast een meer volledige dekking van het SRK werkingsgebied, wordt wel een betere radarzichtbaarheid verkregen voor een gedeelte van de hoofdnavigatieroute naar het oosten toe (de verre route naar Rotterdam).

Ook wordt door dit bijkomende radarstation de verwachtte vermindering van de radardekking ten oosten van het Belgische concessiegebied (ten gevolge van het gebrek aan transparantie van de offshore windparken) volledig gecompenseerd. Op die manier worden de “nieuwe” secundaire vaarroutes aan de oostzijde van het concessiegebied grotendeels waarneembaar, en wordt de problematiek omtrent de verlegde secundaire vaarroutes ineens ondervangen voor de volledige oostflank van de concessiegebieden.

2.5.2 Bijkomend relaisstation voor de VHF radiocommunicatie – "Belwind"

Een relaisstation voor de VHF radiocommunicatie wordt gepland op het OHVS platform (51°41'40" NB en 02°49'02" OL) van het offshore windpark "Belwind". Dit relaisstation is bedoeld voor de VHF kanalen 16 en 67, en één variabel instelbaar radiokanaal. Het betreft een ondersteunend relaisstation om ook op verdere afstand een voldoende radio ondersteuning te bieden voor de Search and Rescue (SAR) diensten, en dit zowel voor de EEZ-zone als een bijkomend gedeelte van de verre hoofdnavigatieroutes. Ook wordt op die manier een ontbrekend deel van het bereik voor de "nieuwe" secundaire navigatieroutes omheen het meest zeewaarste (noordelijke) punt van het Belgische concessiegebied opgevangen. Bovendien is er een relais voor de AIS informatie.

In de volgende Figuur 2-20 wordt de uitbreiding van het VHF bereik geschetst bij in gebruik name van dit bijkomende relaisstation.



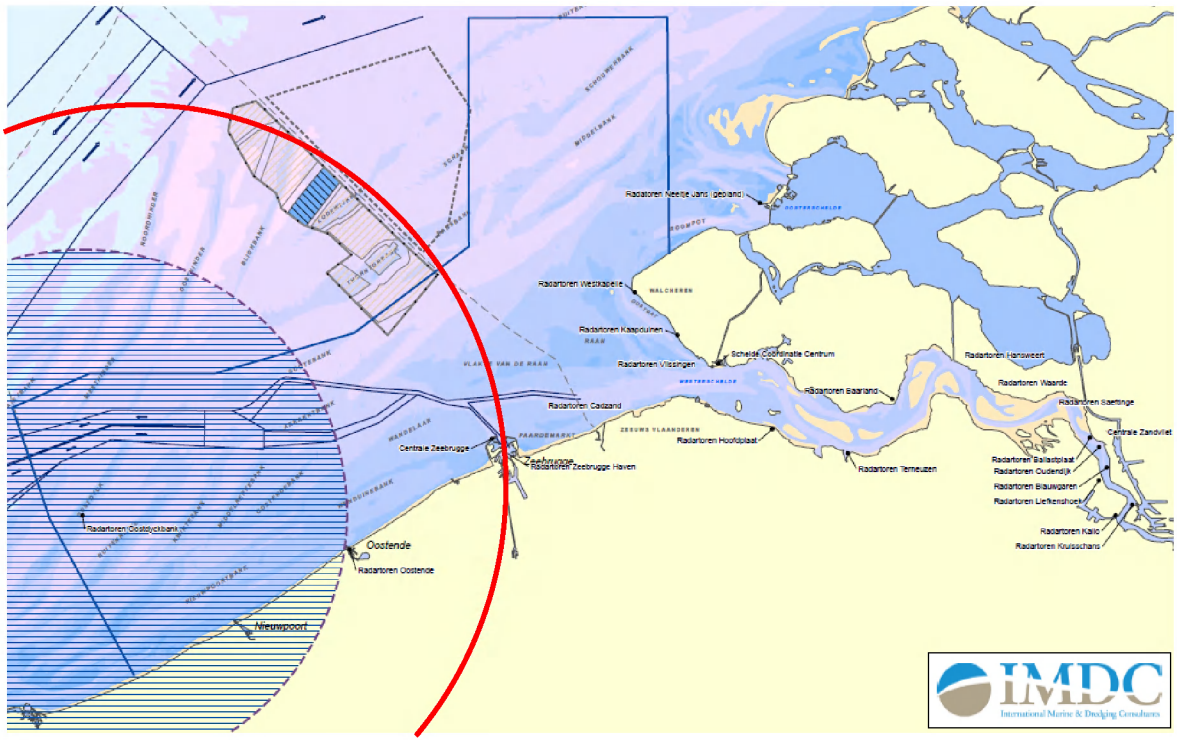
Figuur 2-20 Uitbreiding van het VHF bereik bij installatie van een bijkomend relaisstation "Belwind"

2.6 BEWAKING VAN WINDTURBINEPARKEN

Voor de "bewaking" van de windturbineparken van buitenaf dient een afzonderlijke studie gemaakt te worden. Toch kunnen een aantal aandachtspunten en mogelijkheden nu reeds vooropgesteld worden.

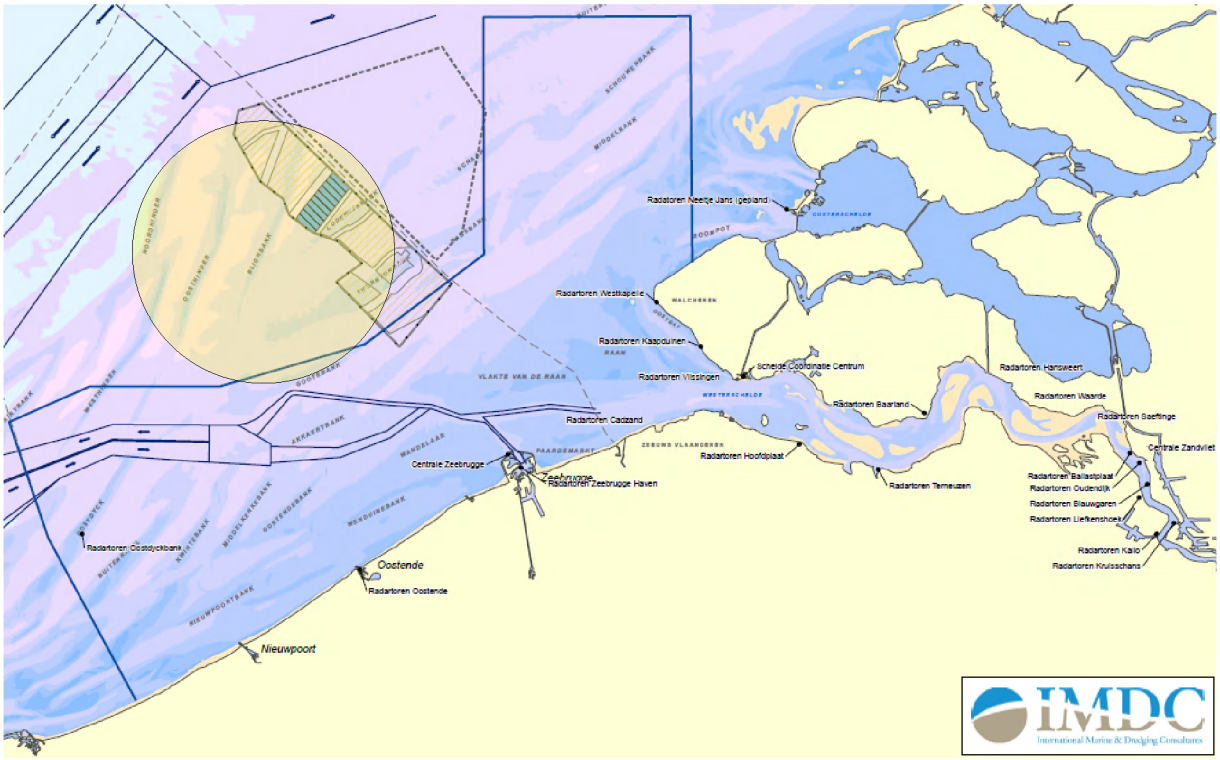
2.6.1 Westkant van het concessiegebied

Voor de bewaking van de westkant van het concessiegebied kan in eerste instantie een aanpassing overwogen worden van de radarinstallatie op de Oostdijck. In eerste instantie dient de LoS zichtbaarheid tot aan de offshore windparken te reiken, wat dus een aanpassing van de antennemast zou betekenen, gelijkaardig aan de geplande installatie "Neeltje Jans".



Figuur 2-21 Huidig LoS bereik van de Oostdijck radar, voor een objecthoogte van 3m,en mogelijk bereik (rode lijn) bij een aanpassing van de radar antennemast

Een andere mogelijk kan erin bestaan om op het westelijke eindpunt van ofwel de Lodewijkbank, of de Bligh Bank een bijkomend radarstation in te planten, met een eerder beperkt bereik. Een bereik van ongeveer 15 km zou daarbij voldoende kunnen zijn.



Figuur 2-22 Schematische voorstelling van een bijkomende radar in westelijke richting, met beperkt bereik

2.6.2 Oostkant van het concessiegebied

De bewaking aan de oostkant van het Belgische concessiegebied hangt hierbij in eerste instantie af van de invulling van het gebied Borssele op het NCP. Immers, bij een realisatie van de offshore windparken Borssele, wordt de oostelijke zijde van de Belgische offshore windparken volledig afgeschermd door het Borssele gebied.

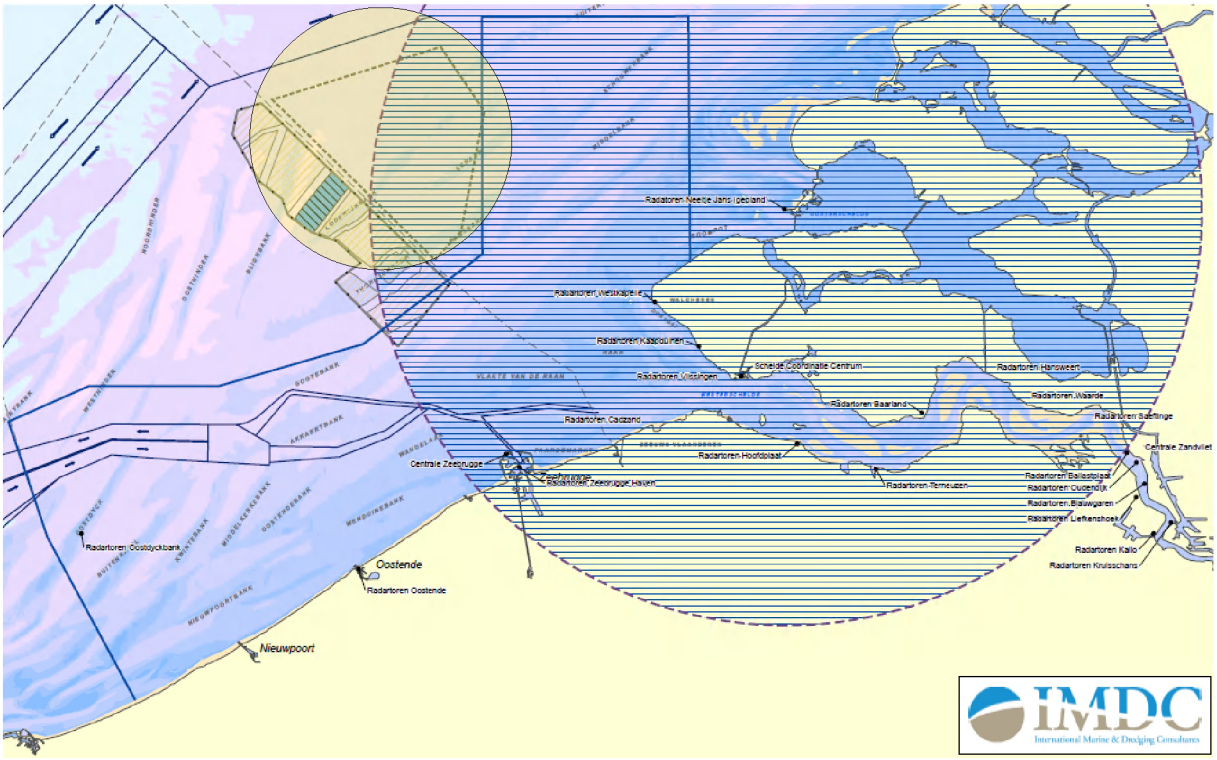
Bij de realisatie van de nieuwe radarinstallatie “Neeltje Jans”, wordt de oostelijke flank van het concessiegebied Borssele volledig afgedekt, ook bij een LoS hoogte van 3 m. Dit wordt in Figuur 2-23 weergegeven.

Het is echter wel duidelijk dat de bewaking van de oostelijke flank van het Belgische concessiegebied, wanneer Borssele niet wordt ingevuld, een probleem stelt, en dat niet wordt ondervangen door de radarstations van Westkapelle of Cadzand.

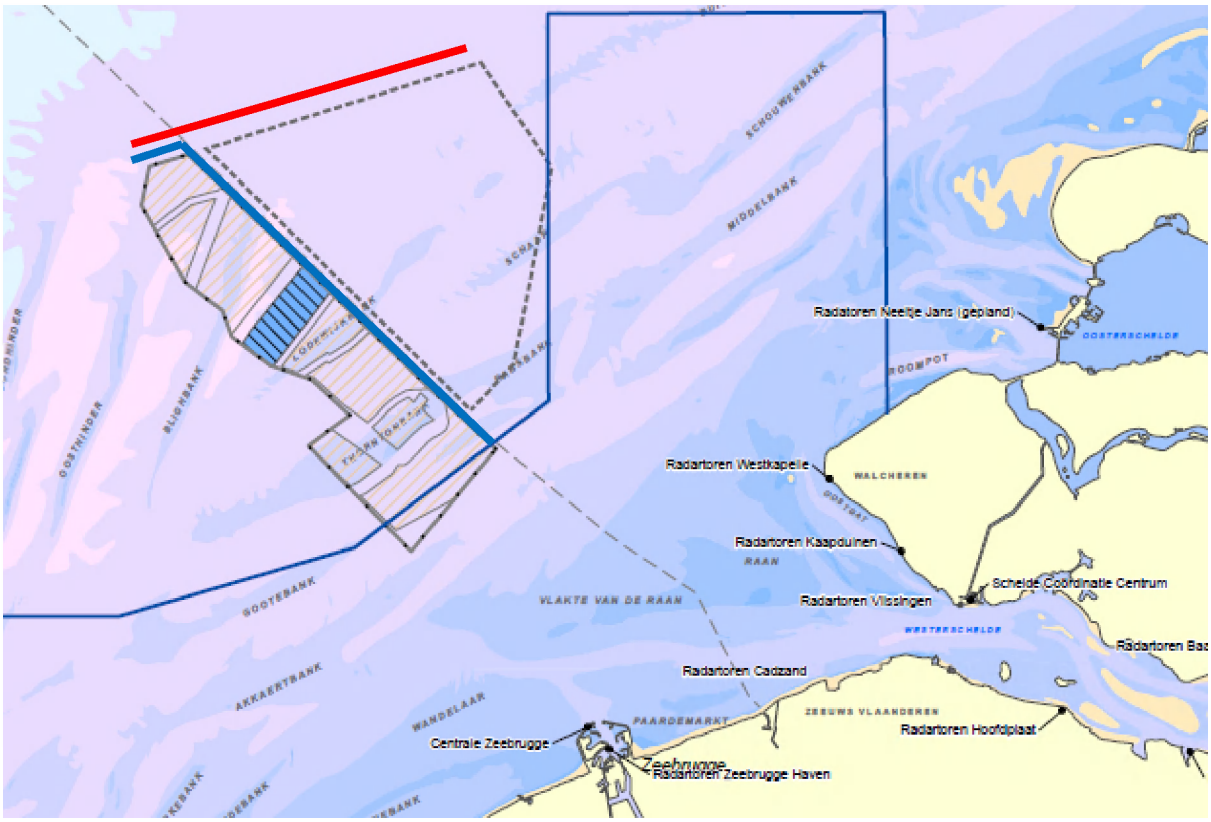
Het lijkt er op dat enkel een bijkomend radarstation in oostelijke richting, weliswaar met een beperkt bereik, dit probleem kan oplossen. Dit wordt met de oranje cirkel ook aangegeven in Figuur 2-23.

2.6.3 Noordkant het concessiegebied

Hierbij dient verder expliciet opgemerkt te worden dat in geen van de boven vermeldde gevallen, de verste zeewaarts gelegen flanken van de concessiegebieden (rode lijn in Figuur 2-24) zichtbaar zullen zijn Hiervoor zal nog een afzonderlijke oplossing dienen gevonden te worden. Wel kan opgemerkt worden dat bij een definitieve niet-realisatie van het project Borssele, de oostelijke flank van het Belgische concessiegebied en de verst zeewaarts gelegen flank (blauwe lijn in Figuur 2-24) door een gepaste inplanting zouden kunnen “bewaakt” worden.



Figuur 2-23 Radarbereik bij een LoS hoogte van 3 m voor “Neeltje Jans”, en een eventueel bijkomend radarstation in oostelijke richting (met beperkt bereik)



Figuur 2-24 Noordflanken van de beide concessiegebieden, die niet zichtbaar zijn voor de huidige SRK radars, noch voor eventueel bijkomende radar installaties die de westelijke en de oostelijke flanken "bewaken"

3. LITERATUURSTUDIE

Er werd in het kader van deze studie en ter voorbereiding van de feitelijke impactanalyse later, een literatuurstudie uitgevoerd. Zoals reeds hoger opgemerkt werd heel wat onderzoek uitgevoerd rond de invloed van windturbineparken op de radarinstallaties voor het luchtverkeer (ATC), zowel voor onland als offshore.

Een overzicht hiervan wordt gegeven in Bijlage A van dit rapport. Daarin wordt een opsomming gegeven van specifieke studies en rapporten rond offshore windparken en de effecten op de marineradar, en dit zowel voor de walradar en de scheepsradar. Bovendien worden een aantal publicaties vermeld omtrent radar en windturbines in het algemeen.

Er kan gesteld worden dat er momenteel weinig of geen gegevens beschikbaar zijn voor gelijkaardige situaties van windparken op zee en de walradar, en dit omwille van de relatief grote afstand van de kust tot de windparken op zee, voor wat de Belgische projecten betreft (*25 km tot meer dan 45 km uit de kust*). De betreffende studies omvatten inderdaad allemaal offshore windparken die op een typische afstand van 8 à 14 km uit de kust liggen (5 à 8 NM).

Daarentegen zijn er wel testresultaten bekend voor wat de mogelijke impact op de scheepsradar betreft (en bij uitbreiding op radarinstallaties op korte afstand van de windparken op zee).

Een belangrijk document is wel een aanbeveling van het Franse agentschap Agence Nationale des Fréquences (ANFR): *“Rapport CCE5 n°3:Perturbations du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et porturaires par les éoliennes”* – version 1 – 2008. Hierin worden een aantal effecten vermeld die een invloed kunnen hebben op de radarwaarneming, en dat zowel voor installaties aan wal als voor de instrumentatie aan boord van de schepen.

4. OVERZICHT VAN DE ALS BELANGRIJK GEÏDENTIFICEERDE EFFECTEN

De volgende zeven belangrijke items en/of effecten werden gedefinieerd en geanalyseerd in Flemtek-IMDC (2012). Er werd opnieuw systematisch een analyse uitgevoerd voor al deze effecten op SRK walradar, scheepsradar en de VHF marifone systemen (AIS en RDF inbegrepen) en in detail beschreven (Flemtek-IMDC, 2013).

4.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID

Controle van de zichtbaarheid van de windparken op zee met de Line of Sight (LoS) en rekening houdend met de kromming van de aarde. Hierbij wordt verwezen naar sectie 2 van dit rapport, waar dit effect reeds in detail besproken werd.

4.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR DE ZIJLOBES

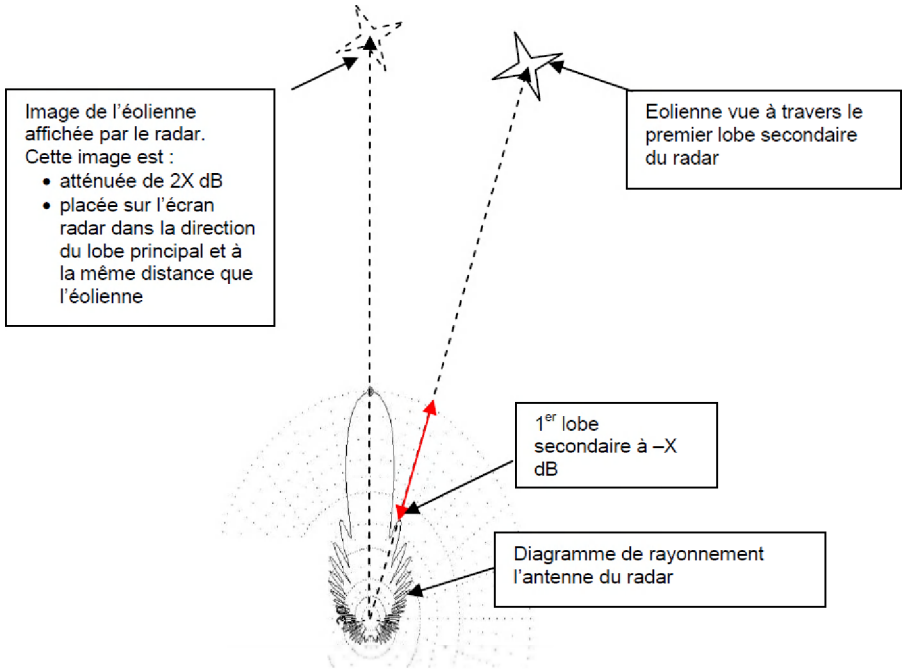
Mogelijke detectie door de zijlobes van de radarantenne, waarbij een tweede (virtuele) windturbine wordt waargenomen. Het optreden van dit effect wordt geschetst in Figuur 4-1. Het is duidelijk dat dit alleen kan met objecten die een voldoende grote RCS zullen hebben, en bovendien op relatief korte afstand van de radar gelegen zijn, zodat het gereflecteerde signaal nog kan gedetecteerd worden door de ontvanger.

4.3 SHADOWING EN MOGELIJKE DODE ZONES

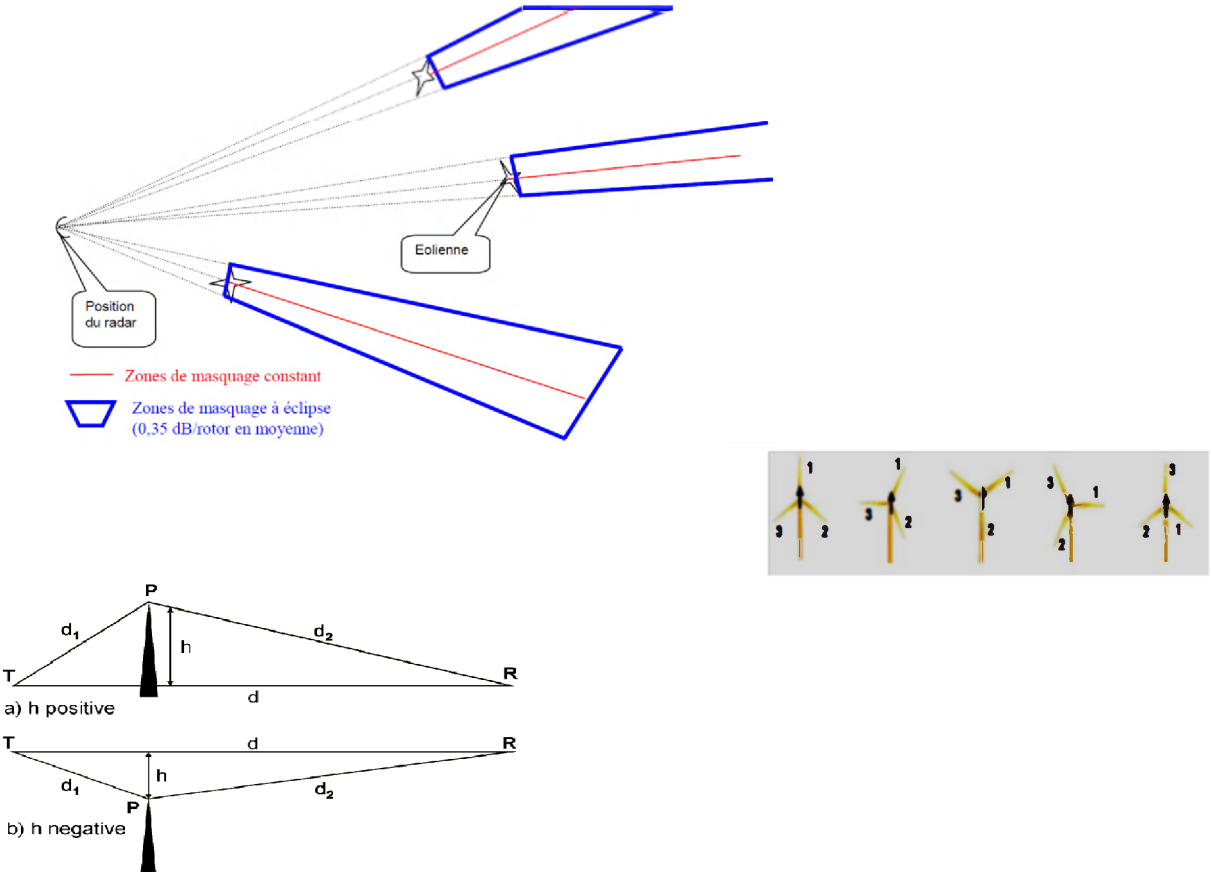
Shadowing en mogelijke dode zones achter de windturbines. Hierdoor ontstaan achter de windturbines zones met een verminderde “zichtbaarheid” door de attenuatie van het signaal, en wat dus een vermindering in reikwijdte met zich mee brengt.

Dit effect wordt schematisch weergegeven in Figuur 4-2.

Bij een obstakel wordt door diffractie het bereik achter het voorwerp verminderd, of zelfs helemaal teniet gedaan (dode zone). Wanneer de Line of Sight (LoS) niet verstoord wordt door het obstakel (h negatief), dan blijft het volledige bereik gehandhaafd. Wordt de LoS wel verstoord, dan kan er zich afhankelijk van afstand en “effectieve hoogte h” (of effectieve breedte b), een zekere verzwakking van het radarsignaal optreden.



Figuur 4-1 Detectie door zijlobes – ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR

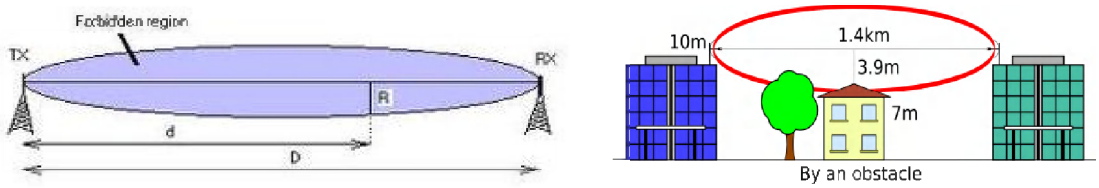


Figuur 4-2 Dode zones en schaduwzones achter een windturibine - ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR en Fresnel edge attenuation

4.4 MOGELIJKS ONVOLDOENDE VRIJE DOORGANG TUSSEN DE WINDTURBINES (FRESNEL VOORWAARDEN)

Dit is vooral van belang voor de doorzichtigheid van de windparken. In de betreffende literatuur is heel wat aandacht besteed aan dit effect, om van op kortere afstanden scheepvaartbewegingen in en achter een windturbinepark te kunnen waarnemen.

De voorwaarden voor een voldoende doorgang van een radiosignaal worden gegeven door de Fresnel ellips. Hierbij bepaalt de factor n de graad van protectie van de communicatie, waarbij n=1 als voldoende wordt beschouwd voor de basisvorm van radiocommunicatie, en ook voor radar het geval is. In Figuur 4-3 hieronder wordt dit schematisch weergegeven.

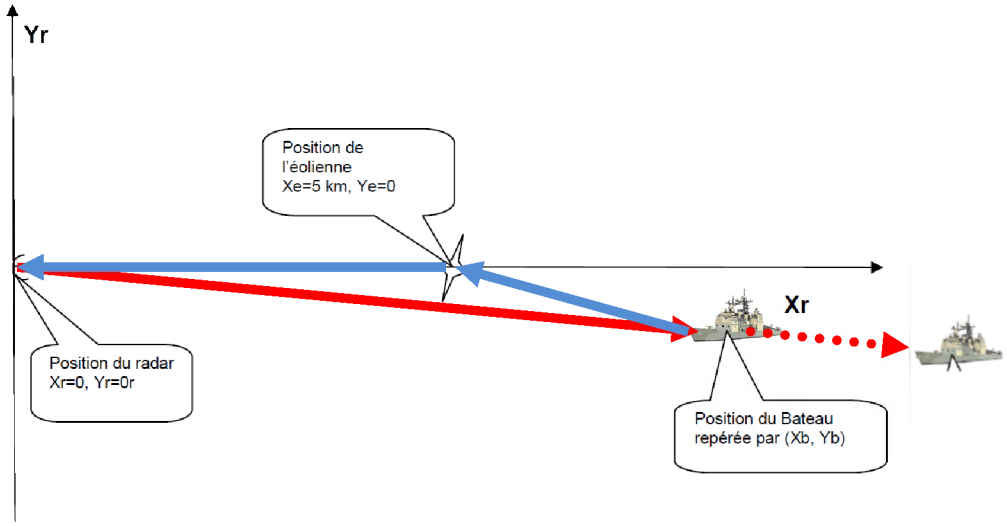


$$R^2 = (n * \lambda * d * (D-d))/(D)$$

Figuur 4-3 Voorbeeld Fresnel ellips

4.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN MOGELIJKE VALSE ECHO'S

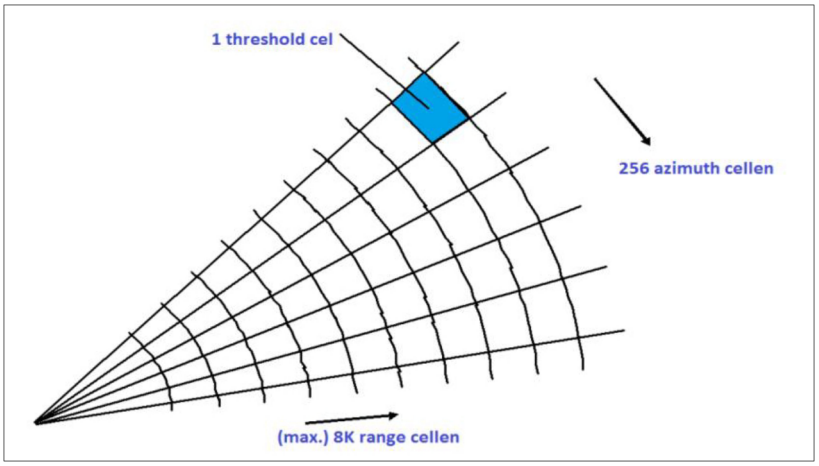
Door een weerkaatsing naar een ander object kan het gebeuren dat de radarontvanger een tweede signaal ontvangt, en zo een tweede (virtueel) object "waarneemt". Dit kan zowel een tweede windturbine zijn, als een tweede schip, afhankelijk van de oriëntatie van de radarantenne. In Figuur 4-4 wordt een voorbeeld geschetst waarbij een tweede schip zou waargenomen worden.



Figuur 4-4 Meervoudige reflectie met een virtueel object als valse echo

4.6 CLUTTER EFFECT DOOR DE VERANDERENDE RCS

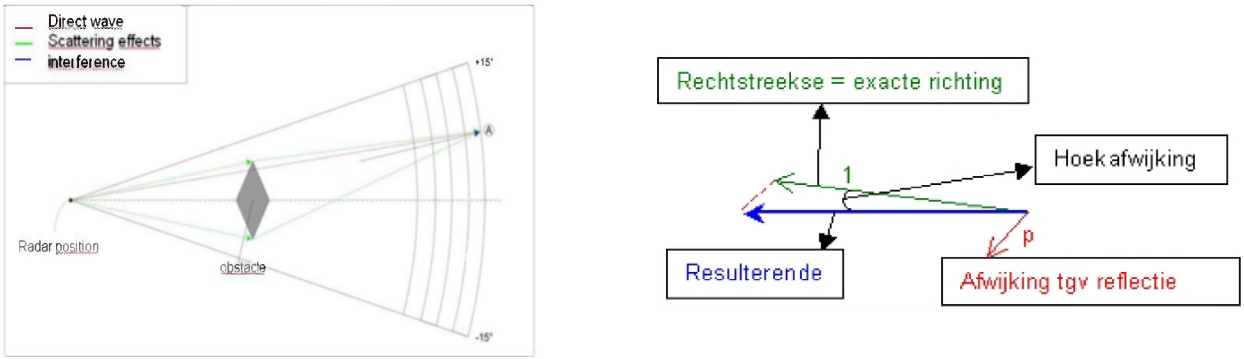
Clutter effect door de veranderende RCS van de draaiende rotoren. Clutter van o.a. de zeegolven kunnen met aangepaste algoritmes worden weggefilterd (als ruis). De meeste clutter algoritmes hebben een verminderde gevoeligheid van de ontvanger als gevolg, en dus een verminderd bereik dan wel een verminderde zichtbaarheid van kleinere objecten. Dit noemt men de bijhorende maskering. Een aantal algoritmes laten toe om de aangepaste gevoeligheid (raised threshold) van de ontvanger slechts voor een aantal waarnemingscellen van de radar door te voeren, zodat maskering zich niet in alle cellen van het radarbeeld voordoet.



Figuur 4-5 Voorbeeld van de waarnemingscellen van het radarbeeld

4.7 DIFFRACTIE EN MULTIPATH PROPAGATIE

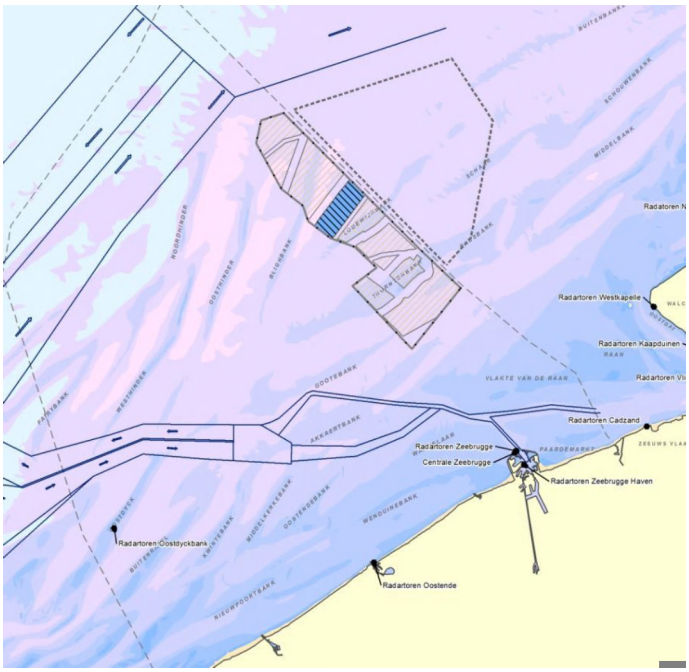
Diffractie en multipath propagatie, met range en azimuth fouten voor de lokalisatie van een object. Door de propagatie rond en omheen een object (vb. windturbine) zijn er verschillende weglengtes van de verschillende signalen tot bij het waar te nemen voorwerp (vb. een schip), en de reflecties. Op die manier ontstaat een samengesteld signaal tussen de 'directe' radargolf en een tweede golf, waardoor zowel naar looptijd (afstand of range) en richting (azimuth) een foutieve waarneming kan ontstaan.



Figuur 4-6 Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effecten

5. IMPACTANALYSE VOOR DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE SRK WALRADAR

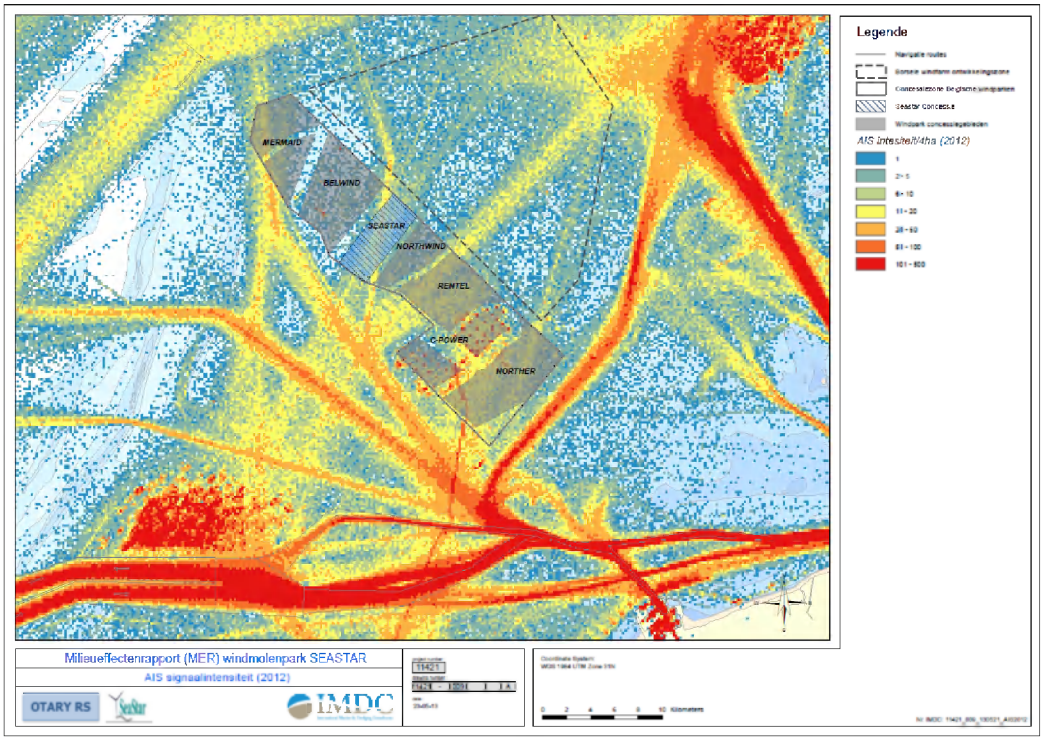
Alhoewel dit rapport het project SeaStar omvat, zal niet enkel uitgegaan worden van dit windpark op zee, maar zal er rekening gehouden worden met de mogelijke cumulatieve effecten en situaties ten gevolge van de andere projecten, al dan niet reeds in uitvoering, gegund of in aanvraag. Voor alle duidelijkheid worden de verschillende concessies en het volledige concessiegebied in de volgende Figuur 5-1 herhaald.



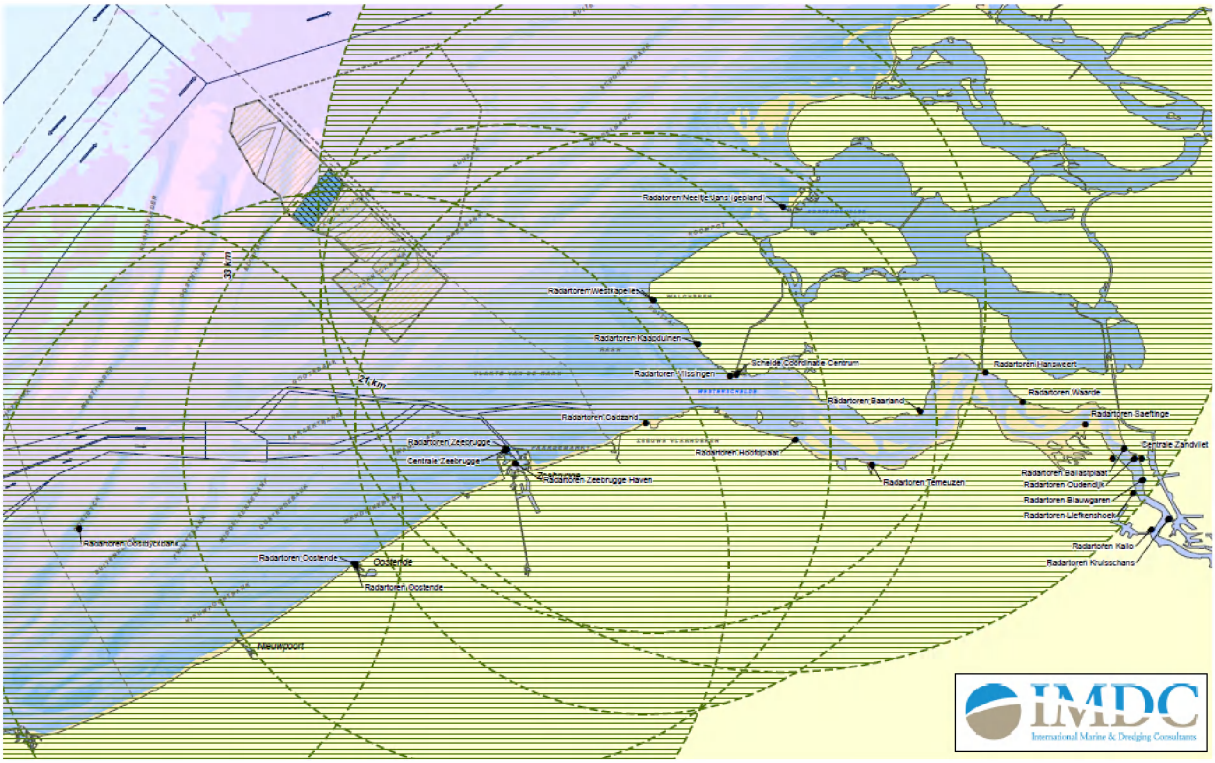
Figuur 5-1 Ligging van de verschillende concessies in het Belgische BCP en Borssele voor het NCP

In Figuur 5-2 wordt het scheepvaartverkeer weergegeven en in de figuren Figuur 5-3 en Figuur 5-4 worden de navigatieroutes aangegeven tegenover de LoS reikwijdte van een aantal radarstations. In Figuur 5-2 wordt voor de duidelijkheid eerst en vooral het scheepvaartverkeer getoond, zoals het gedurende één jaar werd waargenomen (2012). Hierbij is er een duidelijk onderscheid (zie ook Figuur 5-3 en Figuur 5-4) tussen de hoofd-navigatieroutes en de zogenaamde secundaire routes (voor eerder locaal gebruik).

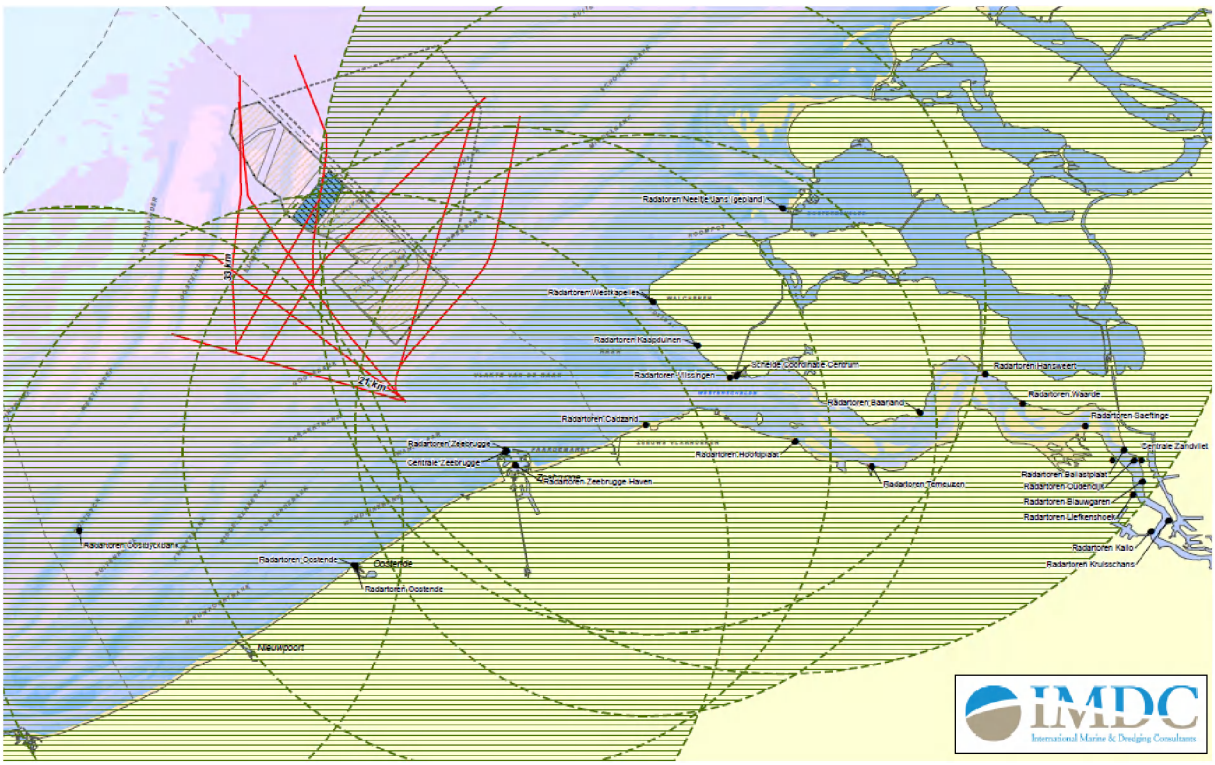
De twee volgende figuren Figuur 5-3 en Figuur 5-4 tonen dan een schematische voorstelling van het scheepvaartverkeer dat de hoofd-navigatieroutes volgt (Figuur 5-3) en de secundaire routes (Figuur 5-4), gekoppeld aan de LoS voor objecthoogtes van 10 m, en dat voor een aantal radarstations van SRK.



Figuur 5-2 Typisch scheepvaartverkeer van één jaar (AIS, 2012)



Figuur 5-3 Hoofd-navigatieroutes en LoS van de radarinstallaties voor een objecthoogte van 10 m



Figuur 5-4 Secundaire navigatieroutes en LoS van de radarinstallaties voor een objecthoogte van 10 m

Uit deze figuren volgt dat er zich feitelijk geen verschil zal voordoen in de waarneembaarheid voor wat de hoofdnavigatieroutes betreft. De eigenlijke aanlooproutes naar de havens blijven volledig waarneembaar door meerdere radarstations, ook voor kleinere objecthoogtes (3 m). Deze verre routes blijven (gedeeltelijk) opvolgbaar, in functie van de afmetingen (hoogte) van de betreffende schepen, zoals dit ook op heden het geval is.

Voor wat de secundaire routes betreft, zal er zich een dubbele wijziging voordoen:

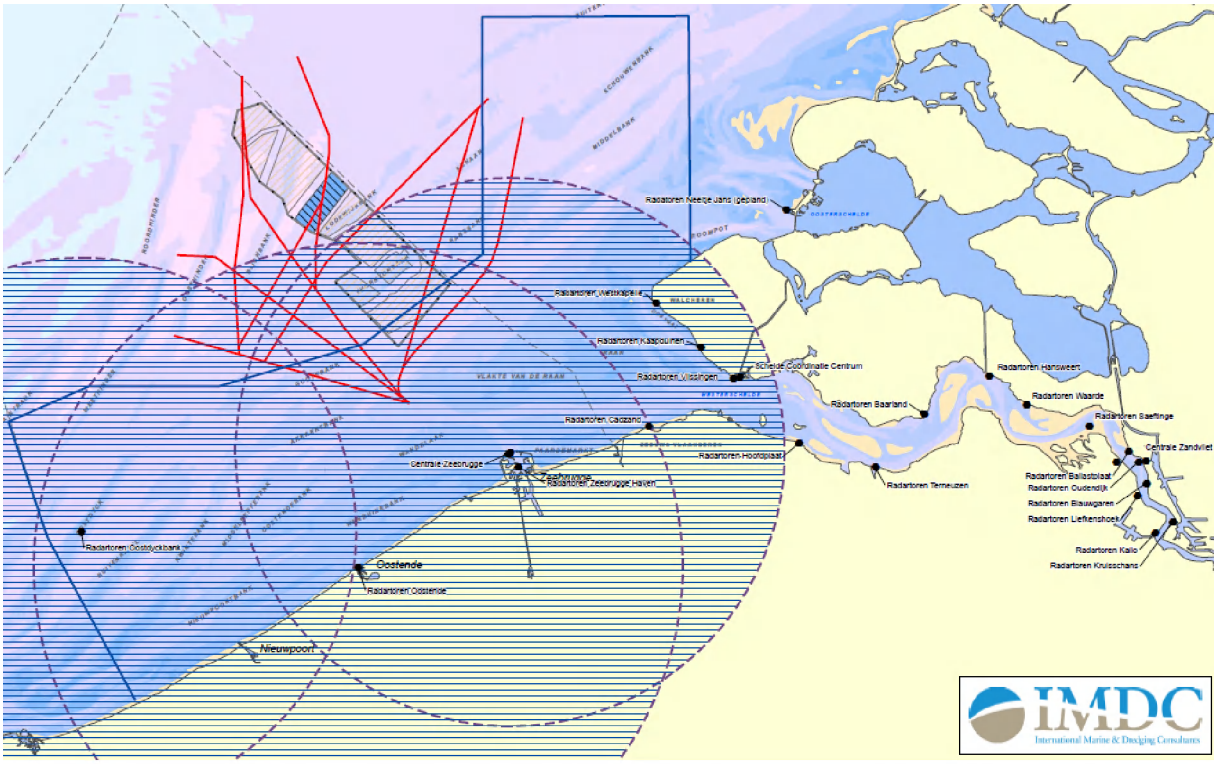
- het herpositioneren van een gedeelte van het huidige scheepvaartverkeer (zie Figuur 5-2 en Figuur 5-4) om en omheen de concessiegebieden. Een gedeelte van de trafiek betreft verder visserij en andere uitbatingen, en zal in de toekomst aangevuld worden met de onderhoudstrafiek van en naar de windparken zelf. Deze intensifiëring van het scheepvaartverkeer heeft wel een directe impact op de nautische veiligheid en vergt de nodige aandacht omtrent een betrouwbare zichtbaarheid.
- in bepaalde richtingen zal voor kleinere objecten de reikwijdte van de radar verminderen door de shadowing van de windturbines. Dit wordt reeds globaal aangegeven in Figuur 5-5 en Figuur 5-6 voor zones ten westen en ten oosten van het Belgische concessiegebied, en waarbij ook het gebied Borssele wordt weergegeven.

In verband met de veiligheid van deze scheepstrafiek kan verder verwezen worden naar de betreffende hoofdstukken in de MER studie:

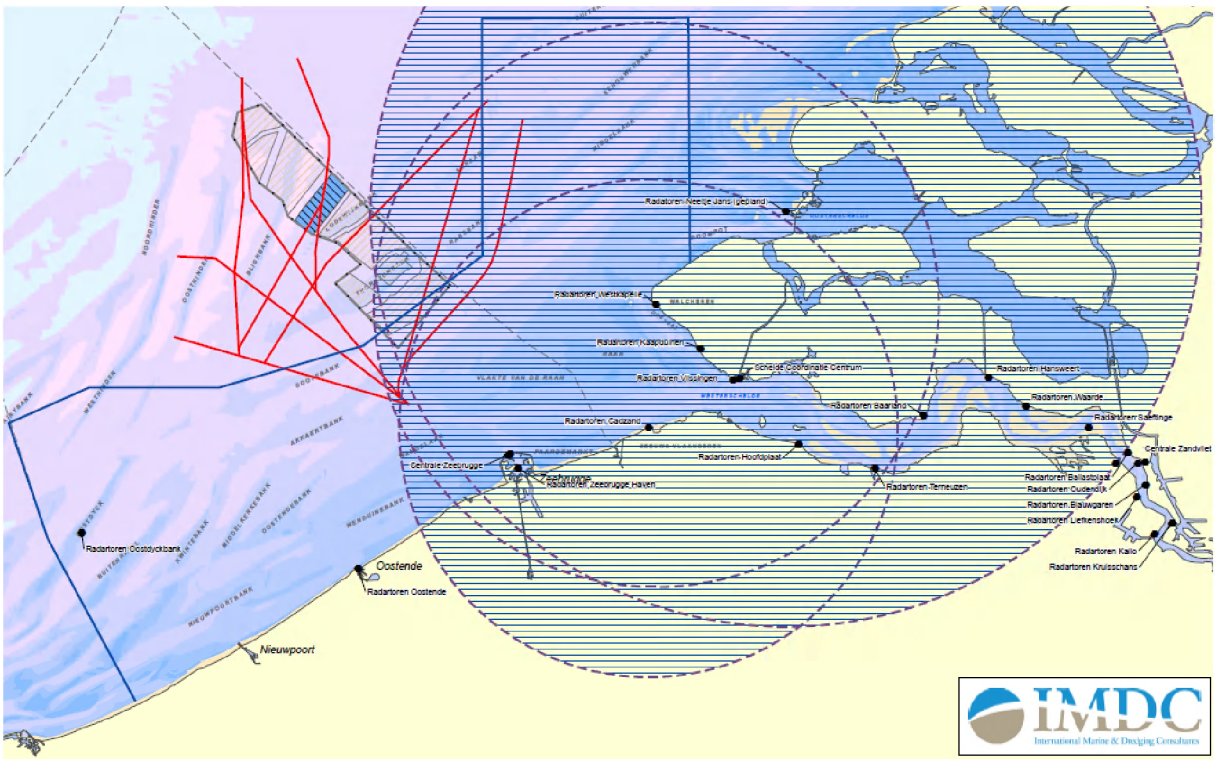
- hoofdstuk 6.3.8.1. cumulatieve effecten: risico's en veiligheid – scheepvaart
- hoofdstuk 7.5. grensoverschrijdende effecten – risico's en veiligheid

De specifieke effecten van zowel het project SeaStar als van een volledige invulling van het concessiegebied worden dan verder in detail voor elk radarstation afzonderlijk besproken.

Hierbij kan reeds in het algemeen gesteld worden dat de radarbundel op een afstand van de radarantenne van 40 km meer dan 300 m bedraagt. Met de betreffende mastbreedtes voor de windturbines mag voor elke turbine afzonderlijk het diffractiemodel gebruikt worden, waarbij dus enkel kort achter de turbine een dode zone kan ontstaan. Cumulatief binnen het eigen windpark en met andere windparken dient nagegaan te worden of er een clustering zal optreden die de vrije propagatie doorheen het windpark beperkt (zie Fresnel voorwaarden).



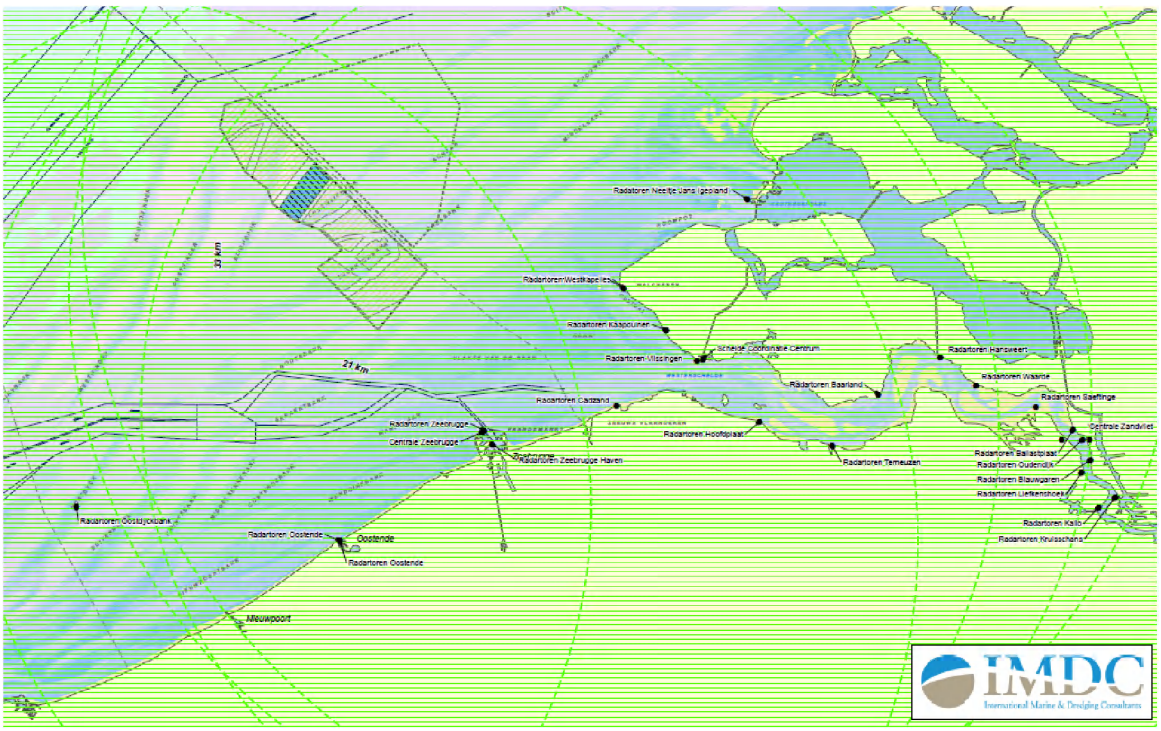
Figuur 5-5 LoS bereik van de Vlaamse radarstations van SRK bij een objecthoogte van 3 m



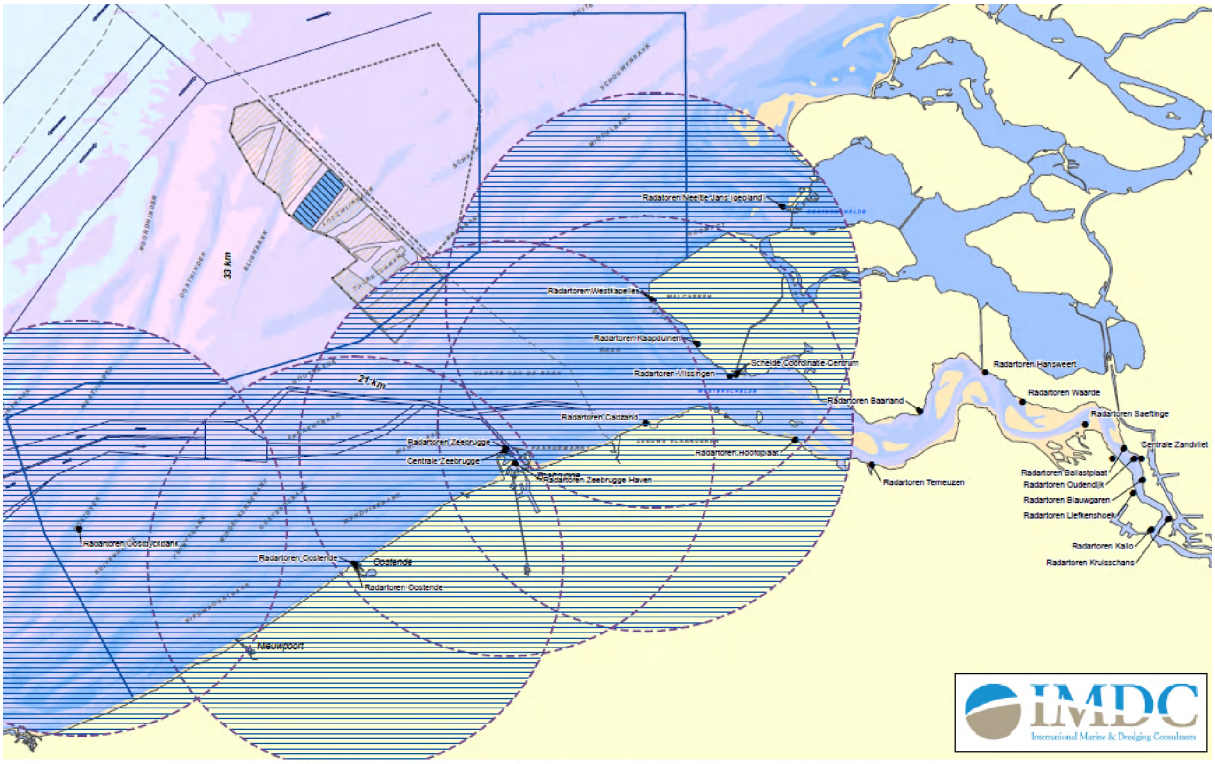
Figuur 5-6 LoS bereik van de Nederlandse radarstations van SRK bij een objecthoogte van 3 m, inclusief het geplande station Neeltje Jans

5.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID VAN DE WINDTURBINES

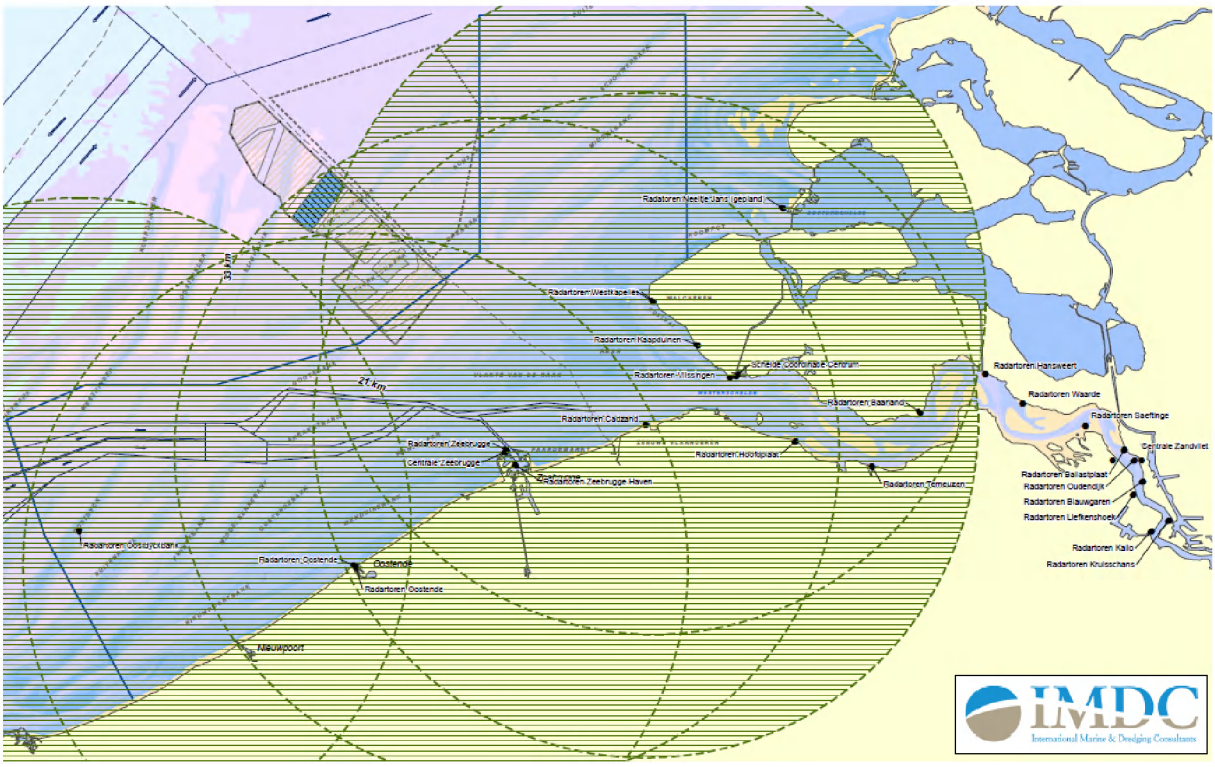
In eerste instantie dient nagegaan te worden in hoeverre de windparken zichtbaar zijn, binnen de beperkingen van geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de radarinstallaties. De volgende Figuur 5-7 geeft de cumulatieve reikwijdte aan van de verschillende radarstations, waarbij een objecthoogte voor de windturbines van 100 m (masthoogte) werd aangehouden. Het is zonder meer duidelijk dat voor alle betreffende radarstations, het volledige Belgische en Nederlandse concessiegebied binnen de LoS valt.



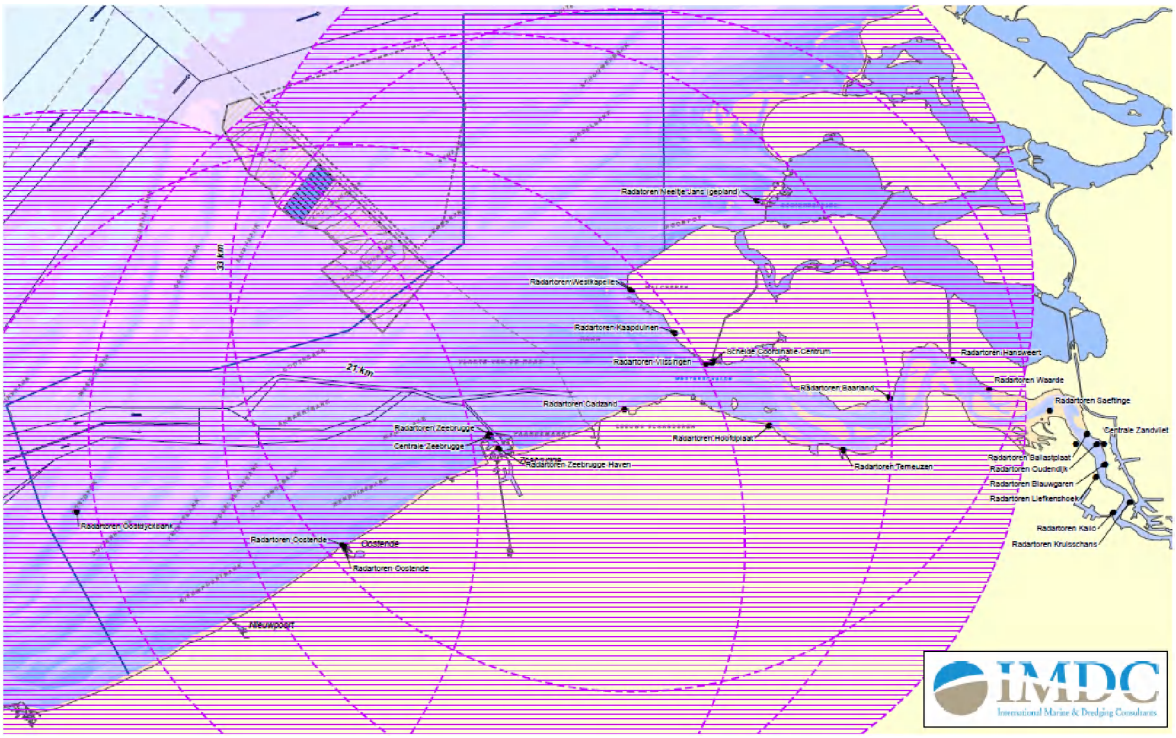
Figuur 5-7 LoS bereik van de SRK radarstations, bij een masthoogte van de windturbines van 100 m



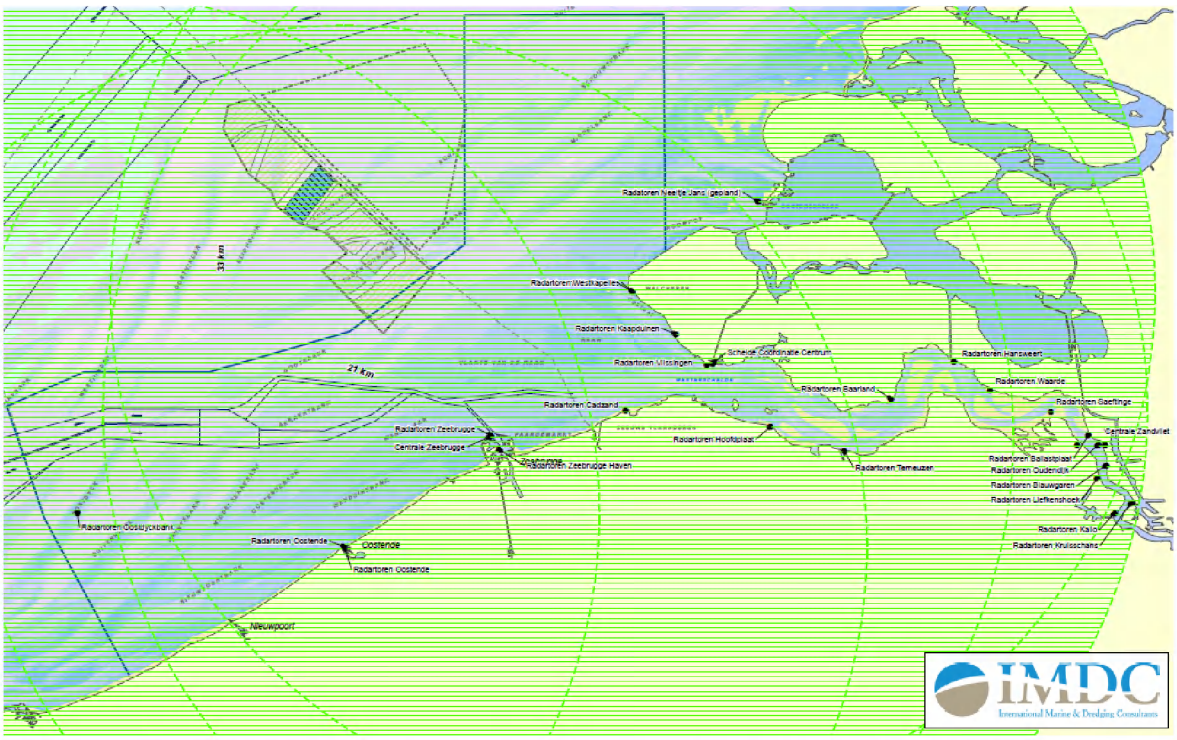
Figuur 5-8 RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 1 m²



Figuur 5-9 RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 10 m²



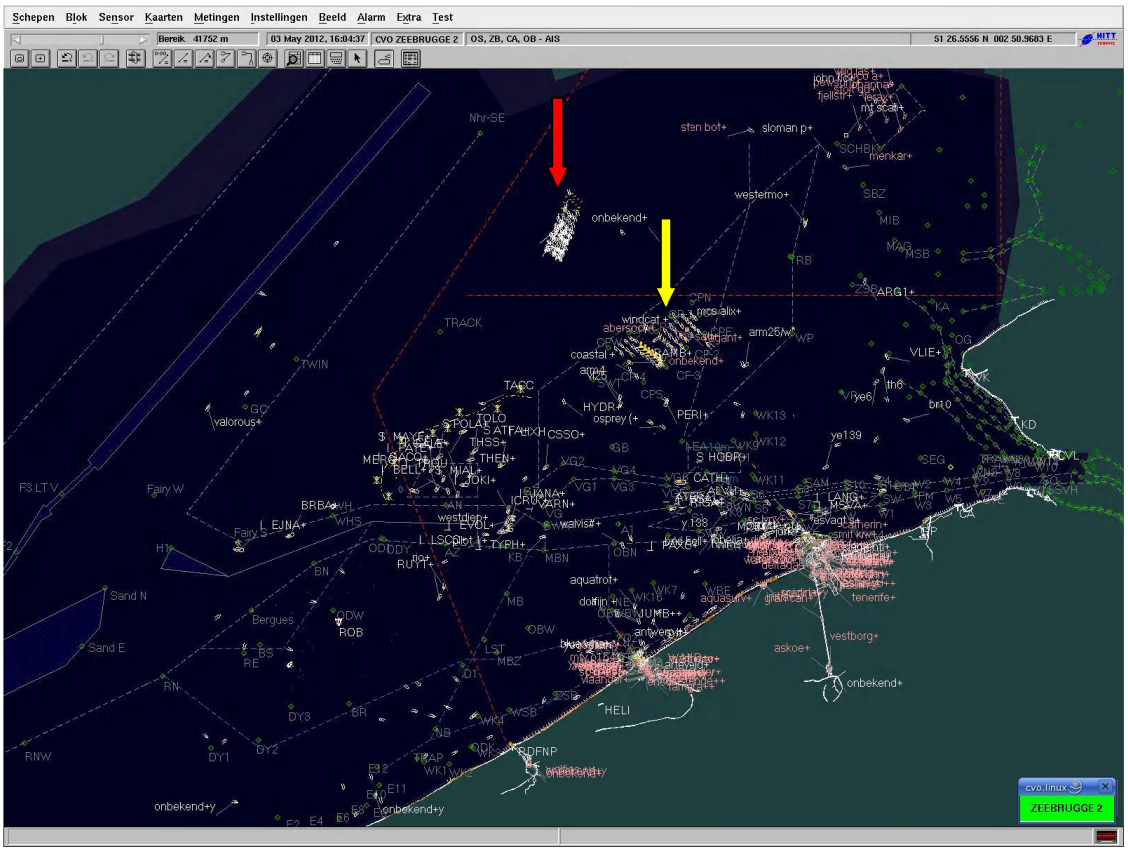
Figuur 5-10 RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 25 m²



Figuur 5-11 RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 100 m²

Uit bovenstaande analyse en grafieken volgt dus dat voor objecten met een zeer kleine RCS (< 1 m²), de gevoeligheid van de radarinstallaties beperkend zal zijn, en niet de Line of Sight. Voor objecten met een grotere RCS (> 25 m²) zal de Line of Sight de beperkende factor zijn. Op te merken is hierbij wel dat door de kromming van de aarde een aantal objecten die zich achter de horizon bevinden, slechts gedeeltelijk in hoogte effectief zullen zichtbaar zijn, en dus een kleinere RCS zullen vertonen dan bij rechtstreekse aanstraling door de radar. Dit is het geval voor de windturbines op grote afstand, waarvan de mast slechts gedeeltelijk zichtbaar zal zijn en de wieken dus een belangrijker aandeel zullen vormen in de RCS waarde.

In ieder geval reikt het bereik van een aantal radarstations – onder een aantal gecombineerde omstandigheden van objecthoogte en RCS waarde – tot aan/over de concessiegebieden voor windparken op zee. Daarom moet dus de attenuatie ten gevolge van de windturbines – de zogenaamde Fresnel edge attenuation – in aanmerking genomen worden om het effectieve bereik van de SRK radar bij de realisatie van de verschillende windparken op zee te kunnen inschatten.



Figuur 5-12 Screenshot van de reële radarwaarnemingen[2]

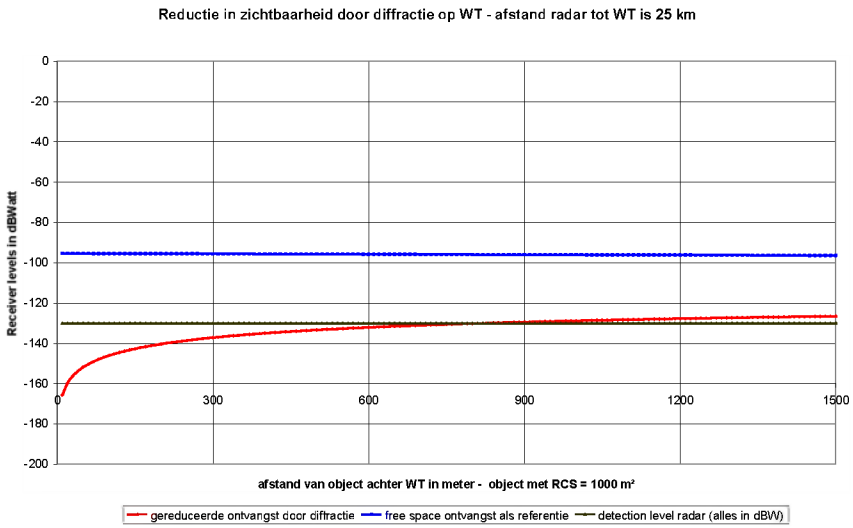
Uit bovenstaande Figuur 5-12 blijkt dat in de praktijk het scheepvaartverkeer tot over de Thorntonbank (gele pijl) door de radar kan opgevolgd worden, en dat verderaf enkel vrij grote objecten zichtbaar blijven, zoals o.a. het offshore windmolenpark Belwind (rode pijl), zoals dat ook reeds in de Figuur 5-8, Figuur 5-9, Figuur 5-10, Figuur 5-11 was aangegeven.

De Fresnel edge attenuation voor een windturbine geeft aanleiding tot een verminderde gevoeligheid achter de windturbine. In de volgende figuren wordt deze attenuatie gegeven voor een windturbine op een afstand van 25 km en 40 km, en een object met een RCS van 1000 m² in lijn achter de windturbine. Voor een meer gedetailleerde bespreking van dit verschijnsel wordt verwezen naar de secties 5.3 en 5.4 van dit rapport.

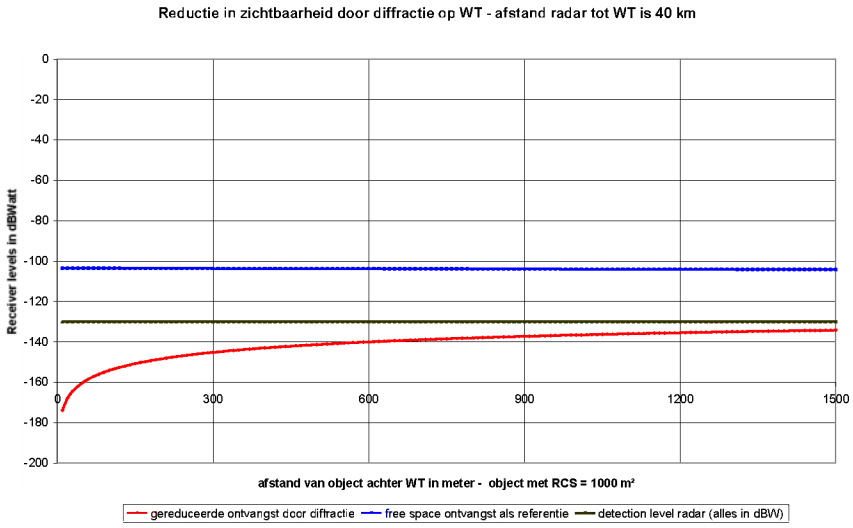
Uit voorgaande beschouwingen is het echter duidelijk dat de windparken op zee reeds op het grensgebied liggen van de waarneembaarheid door de SRK radarstations, en dit in functie van zowel de LoS (hoogte van de objecten) als de RCS van deze objecten.

De bijkomende Fresnel edge attenuation maakt echter wel dat telkens de zone in lijn achter een windturbine niet meer (voldoende) zichtbaar zal zijn voor de betreffende radar. Indien tussen de windturbines nog een voldoende vrije propagatie mogelijk is, zal het windpark toch nog doorzichtig blijven, en zullen voldoende grote objecten (hoogte en RCS) toch nog kunnen waargenomen worden achter het windpark. Zie verder sectie 5.4. voor meer details.

[2] Courtesy van "Afdeling Scheepvaartbegeleiding"



Figuur 5-13 Fresnel edge attenuation door een windturbine op 25 km afstand, object met RCS = 1000 m²



Figuur 5-14 Fresnel edge attenuation door een windturbine op 40 km afstand, object met RCS = 1000 m²

In de volgende paragrafen wordt nu voor elk radarstation afzonderlijk de situatie geschetst van ongewijzigde toestand voor de windparken en de kritische zones die achter de windparken ontstaan ten gevolge van de bovenstaande effecten. In een eerste benadering wordt uitgegaan van een model waarbij de windturbines een clustering vertonen, en het windpark dus niet meer voldoende doorzichtig wordt voor de radargolven.

In Figuur 5-15 - Figuur 5-24 wordt het bereik van elk radarstation telkens afzonderlijk weergegeven voor twee typische condities van objecten:

- LoS bereik bij een objecthoogte van 3 m (***cirkel aangegeven met een label 'LoS'***) en
- een bijhorende RCS van 1 m² (***het geheel van de andere cirkels***)
- LoS bereik bij een objecthoogte van 10 m en 20 m (***cirkels aangegeven met een label 'LoS'***) en een bijhorende RCS van 100 m² (***cirkels die het gele gebied vormen***)

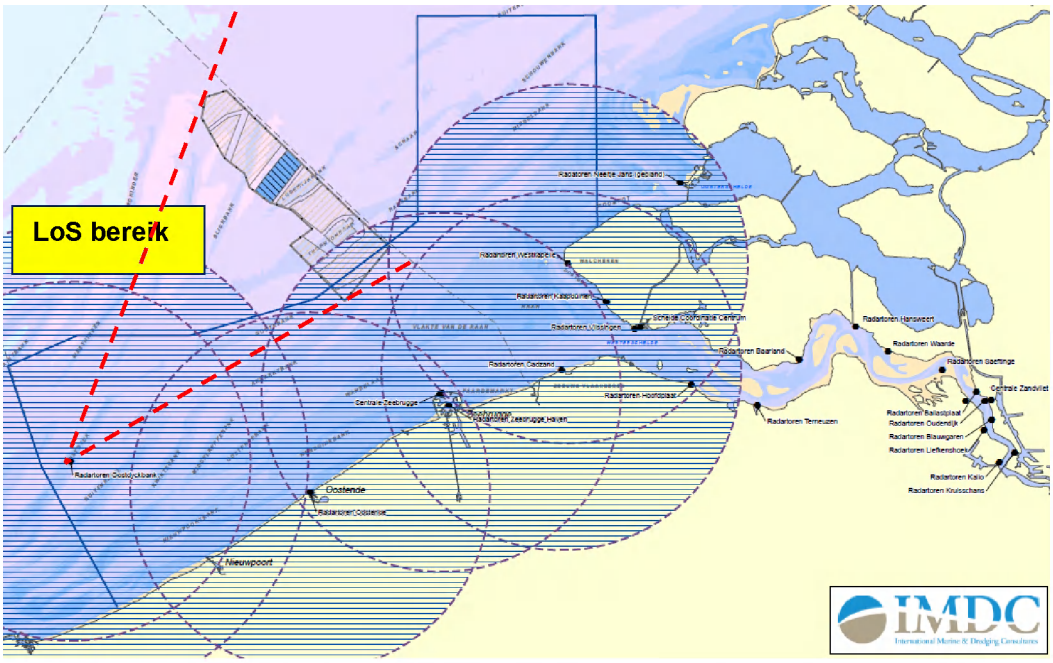
De zone van verminderd/verdwenen radarbereik ten gevolge van de windparken zijn de gedeelten van de reikwijdtes die zich in en over het concessiegebied bevinden.

Het geplande radarstation van Neeltje Jans wordt hierbij niet in aanmerking genomen, noch de invloed van het concessiegebied Borssele op de secundaire scheepvaarttrafiek. Dit zal afzonderlijk behandeld worden in sectie 10 en in het hoofdstuk veiligheid van de MER studie.

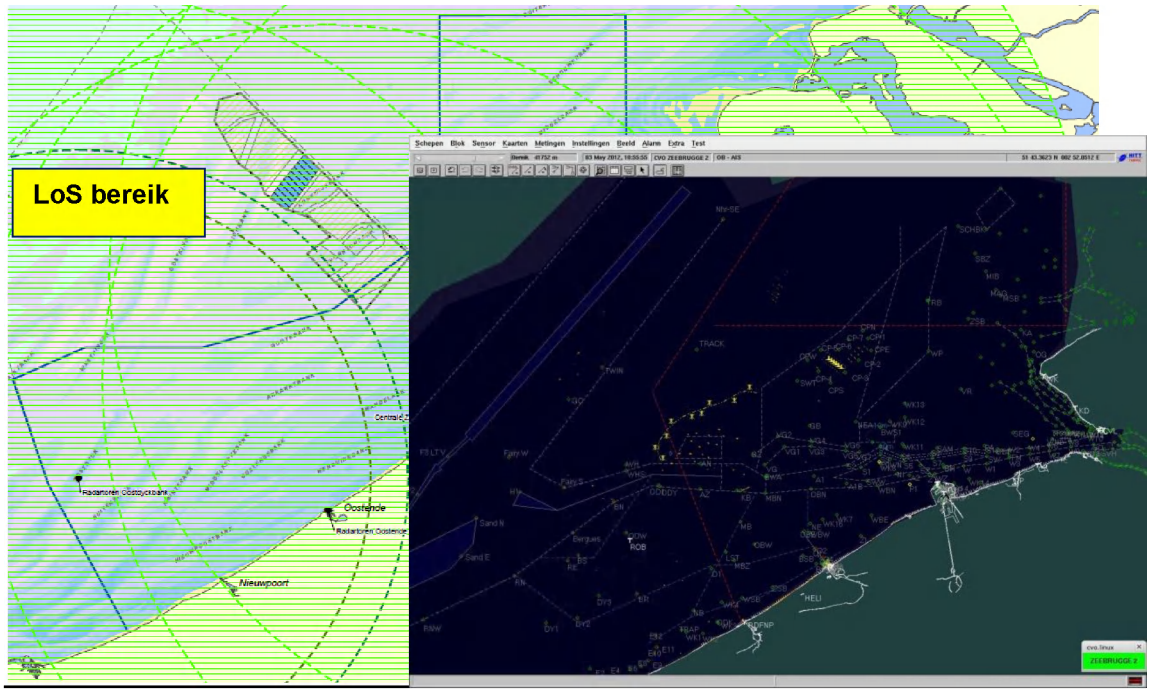
5.1.1 Radar van de Oostdijck zandbank

In de onderstaande figuren Figuur 5-15 en Figuur 5-16 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar op de Oostdijck, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogten van 10m en 20 m.

De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar op de Oostdijck.



Figuur 5-15 Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Oostdijck



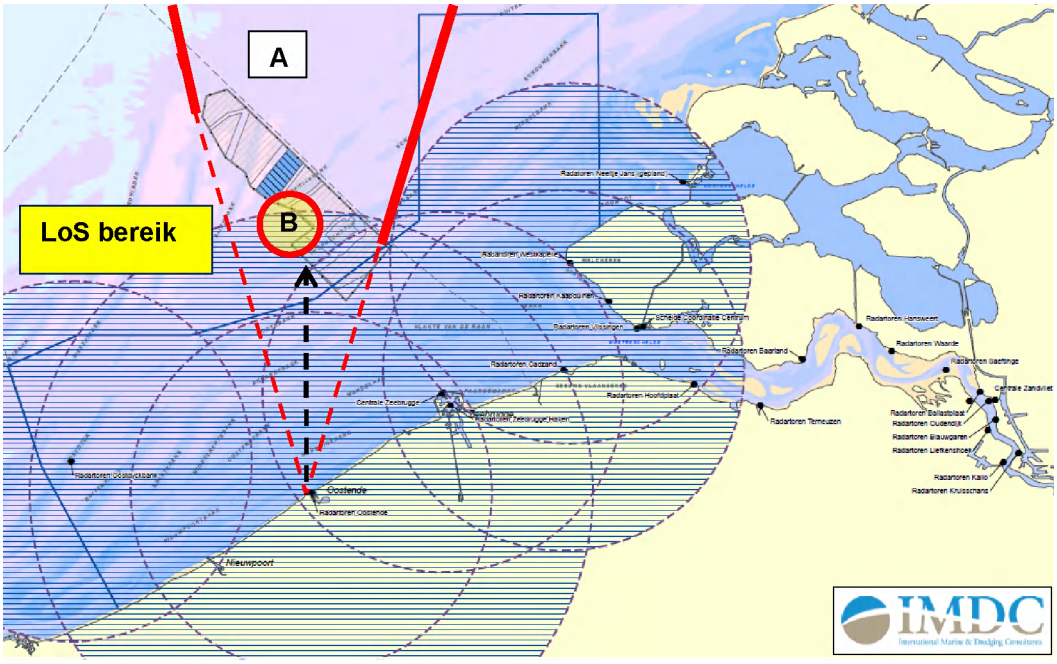
Figuur 5-16 Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Oostdijck

Voor de radar op de Oostdijck is er geen enkele impact, gegeven de beperking in reikwijdte door het LoS bereik van de radar zelf. Op de inzet blijft het project Belwind evenwel nog steeds waarneembaar (LoS bereik voor een objecthoogte van meer dan 100 m).

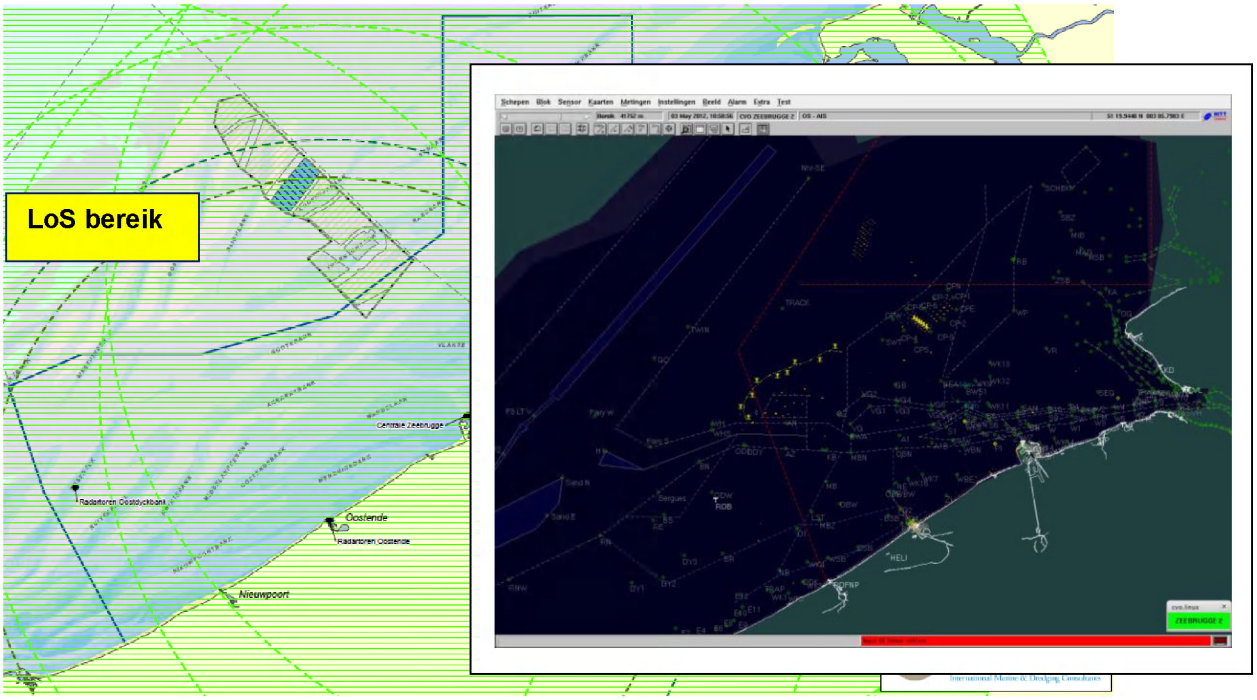
5.1.2 Radar van Oostende (nieuwe radartoren)

In de onderstaande Figuur 5-17 en Figuur 5-18 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar op de Oostende, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogten van 10 m en 20 m. De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar van Oostende (oude toren).

Voor het radarstation van Oostende (ook met de nieuwe antennetoren), blijft de impact beperkt tot een vermindering in zichtbaarheid voor de zone A ten noorden van het afgebakende concessiegebied (tussen de volle rode lijnen), en een kleine zone B onmiddellijk achter het project C-Power (schematisch aangegeven door de kleine rode cirkel). De zone A wordt echter voldoende gedekt door de Nederlandse SRK radarstations (en zeker bij realisatie van de bijkomende radar “Neeltje Jans”).



Figuur 5-17 Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Oostende – nieuwe toren

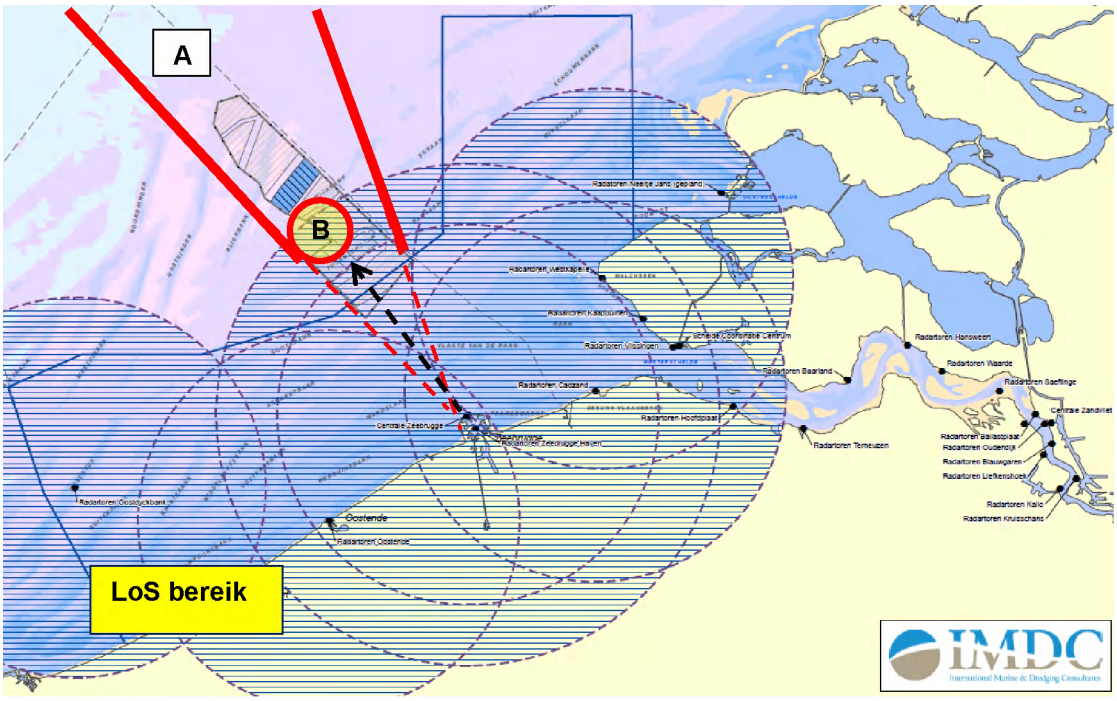


Figuur 5-18 Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Oostende – nieuwe toren

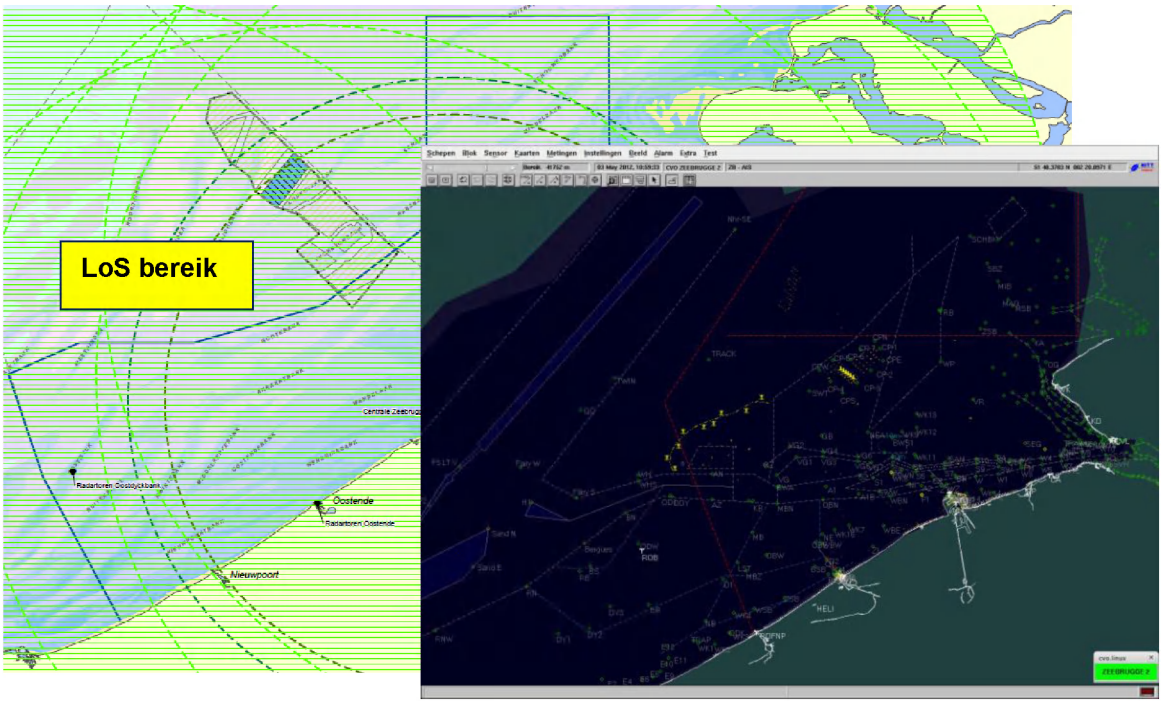
5.1.3 Radar van Zeebrugge

In de onderstaande Figuur 5-19 en Figuur 5-20 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar op de Zeebrugge, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogten van 10 m en 20 m.

De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar van Zeebrugge.



Figuur 5-19 Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Zeebrugge



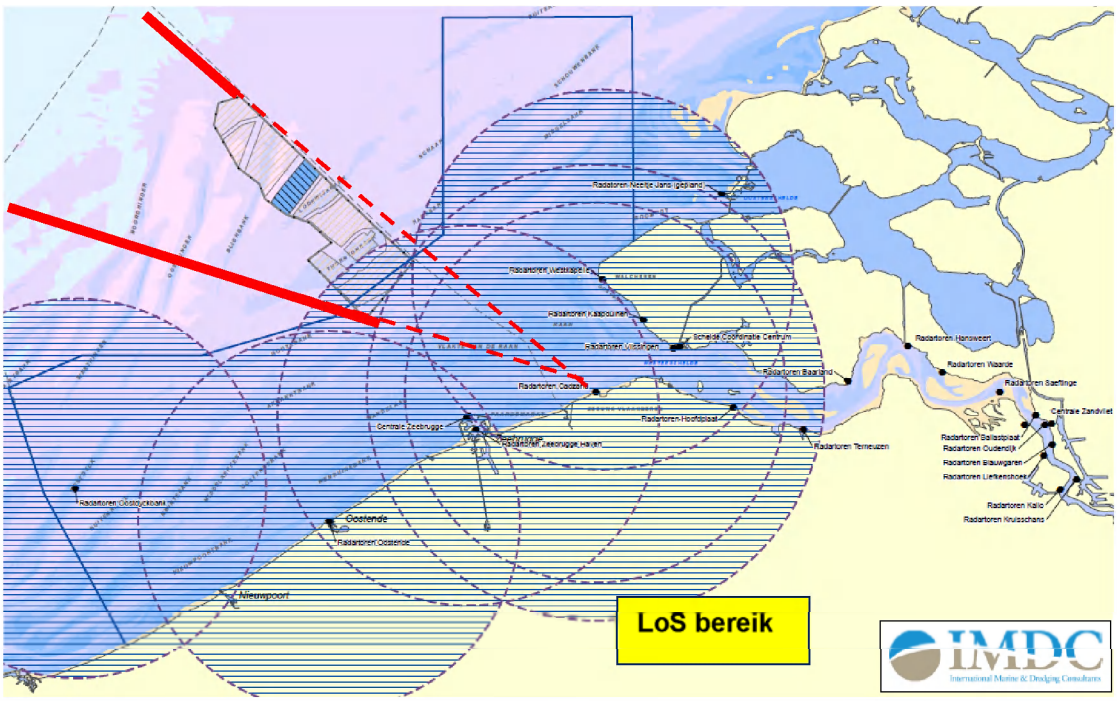
Figuur 5-20 Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Zeebrugge

Voor het radarstation van Zeebrugge, blijft de impact beperkt tot een vermindering in zichtbaarheid voor de zone A ten noorden van het afgebakende concessiegebied (tussen de volle rode lijnen), en een kleine zone B onmiddellijk achter het project C-Power. De zone A wordt echter voldoende gedekt door de Nederlandse SRK radarstations (en zeker bij realisatie van de bijkomende radar "Neeltje Jans").

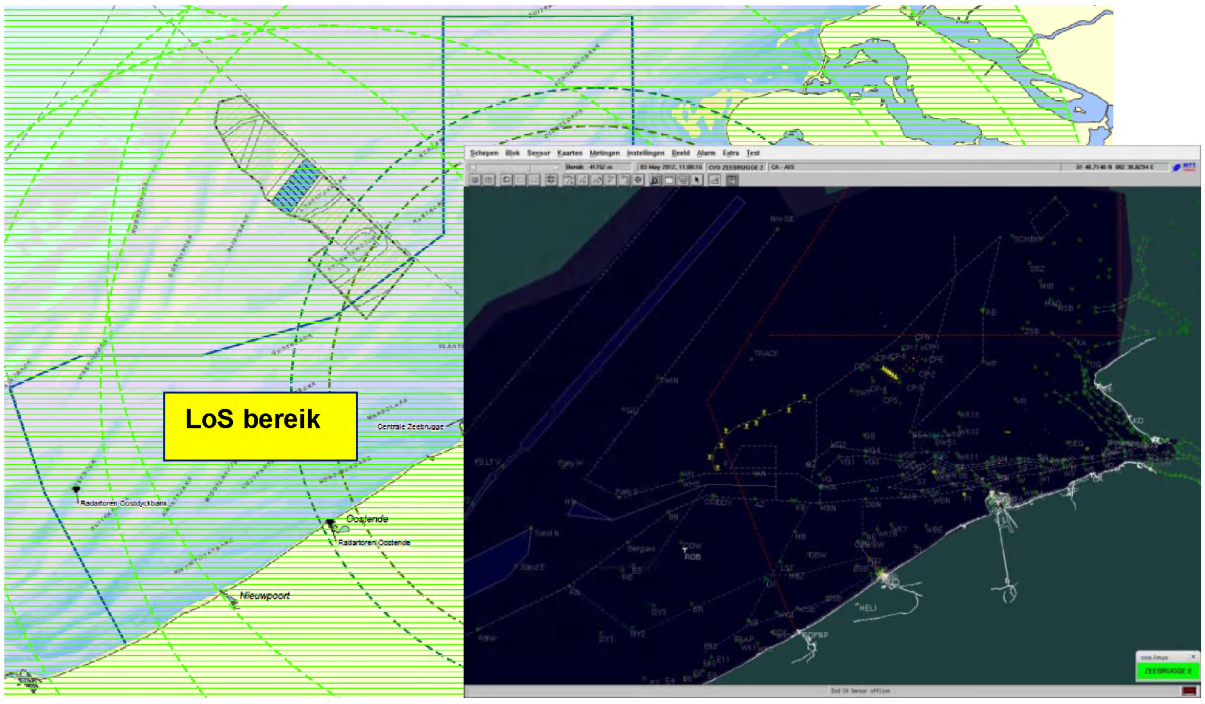
5.1.4 Radar van Cadzand

In de onderstaande figuren Figuur 5-21 en Figuur 5-22 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar op de Cadzand, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogten van 10 m en 20 m.

De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar van Cadzand.



Figuur 5-21 Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Cadzand



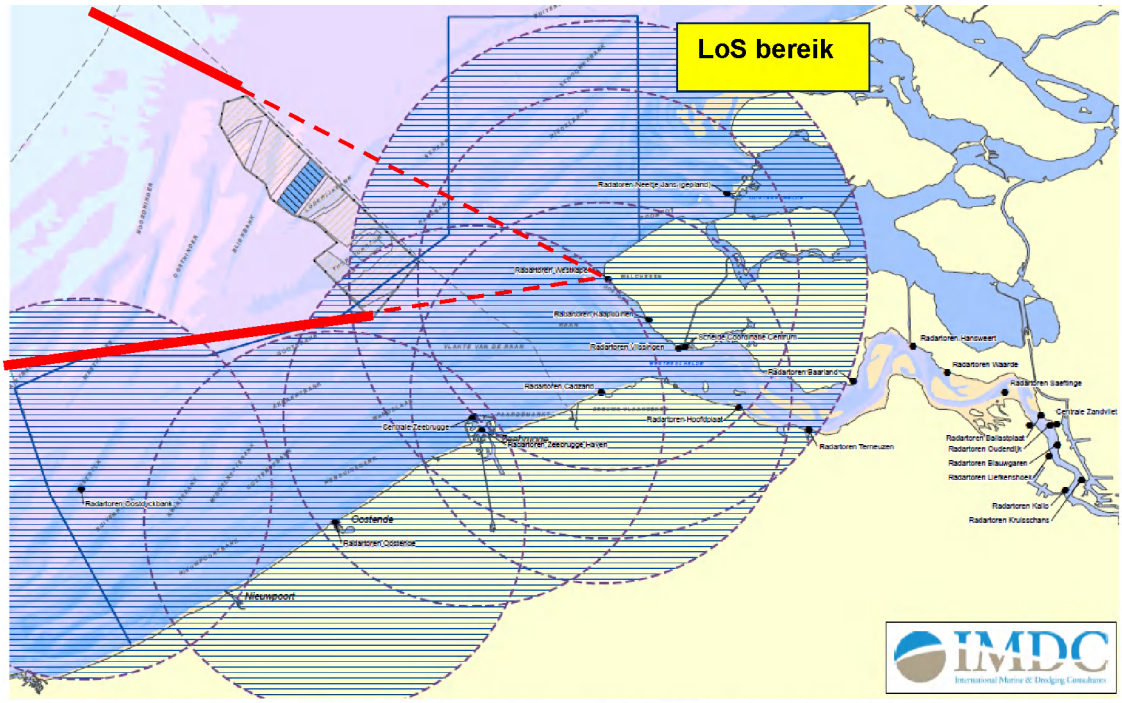
Figuur 5-22 Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Cadzand

Voor het radarstation van Cadzand, blijft de impact beperkt tot een vermindering in zichtbaarheid voor de zone ten westen van het afgebakende concessiegebied (volle rode lijnen). Deze zone wordt echter voldoende gedekt door de Vlaamse SRK radarstations.

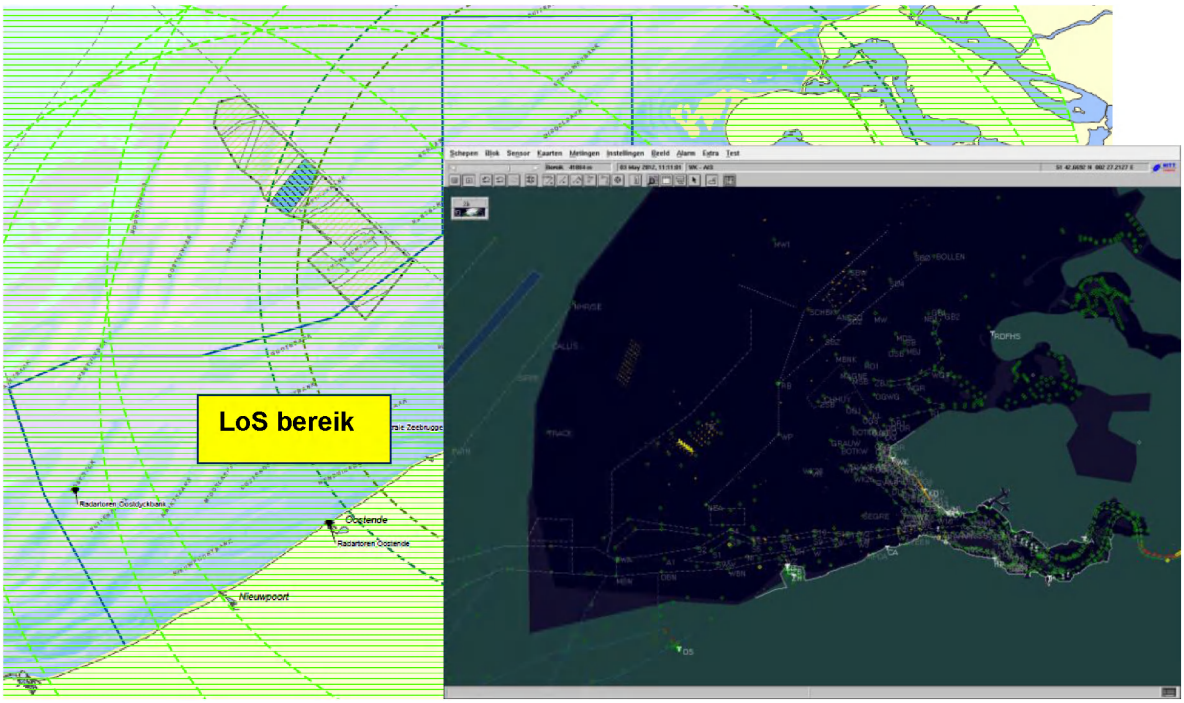
5.1.5 Radar van Westkapelle

In de onderstaande Figuur 5-23 en Figuur 5-24 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar op de Westkapelle, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogten van 10 m en 20 m.

De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar van Westkapelle.



Figuur 5-23 Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Westkapelle



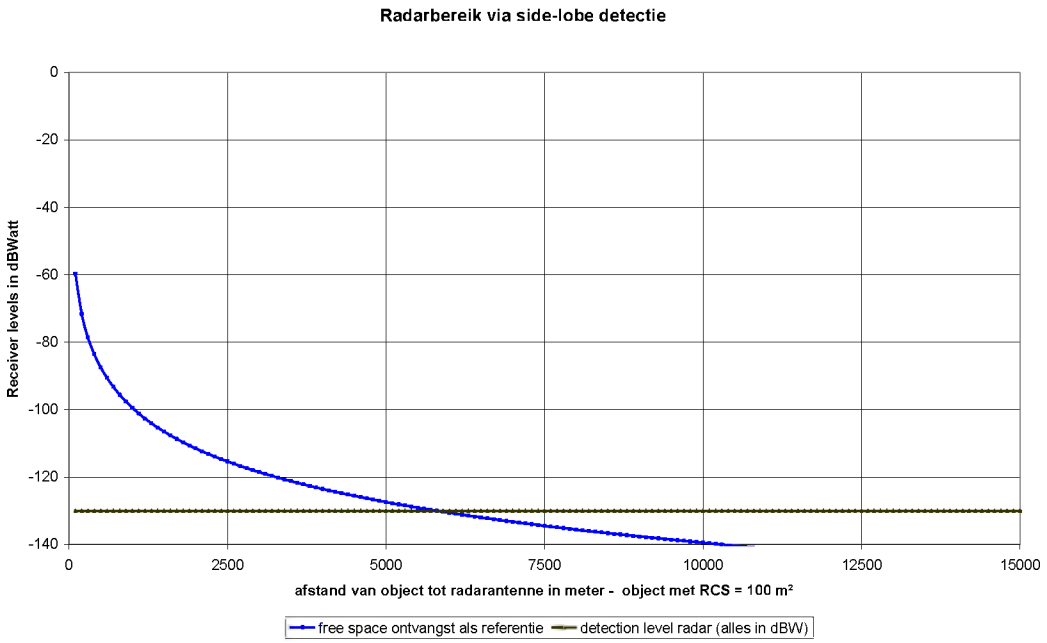
Figuur 5-24 Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Westkapelle

Voor het radarstation van Westkapelle, blijft de impact beperkt tot een vermindering in zichtbaarheid voor de zone ten westen van het afgebakende concessiegebied (volle rode lijnen). Deze zone wordt echter voldoende gedekt door de Vlaamse SRK radarstations

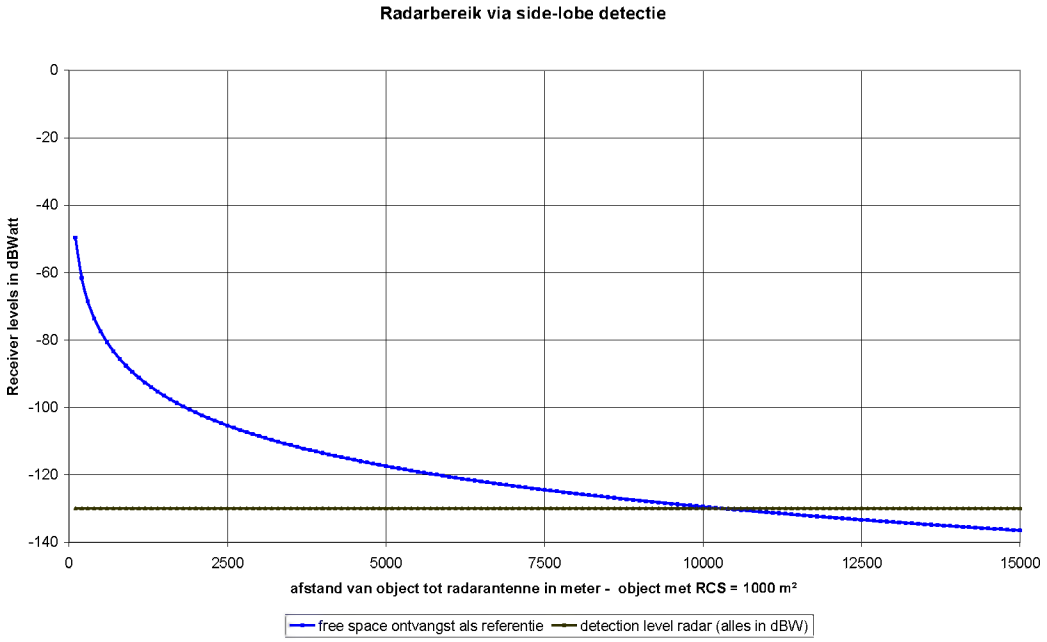
5.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR ZIJLOBES

Zoals hoger aangehaald kan een detectie door de zijlobes van de radarantenne aanleiding geven tot een valse echo in het radarbeeld. Voor de SRK radars ligt de afstand tussen radarantenne en object waarbij een detectie via de zijlobes (met een zijlobe onderdrukking van 25 dB), mogelijk is tot op maximaal 6 km voor objecten met een RCS van 100 m² en een afstand van 10 km voor objecten met een RCS van 1000 m².

Er zal zich dus geen beeldvorming van de windparken op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de radar.



Figuur 5-25 Gevoeligheid van de radarontvangst via zijlobe detectie, object met RCS = 100 m²



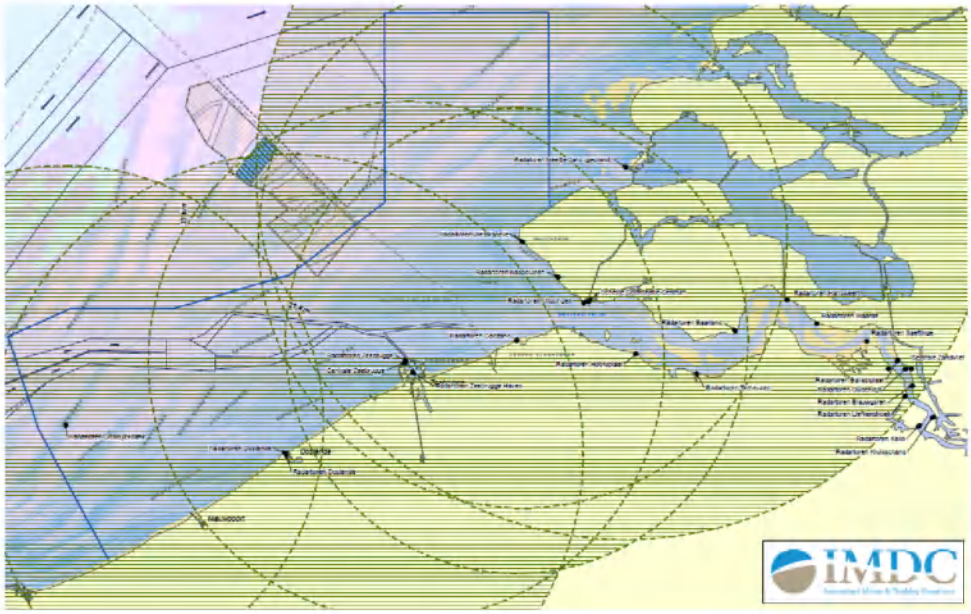
Figuur 5-26 Gevoeligheid van de radarontvangst via zijlobe detectie, object met RCS = 1000 m²

5.3 SHADOWING EN DODE ZONES

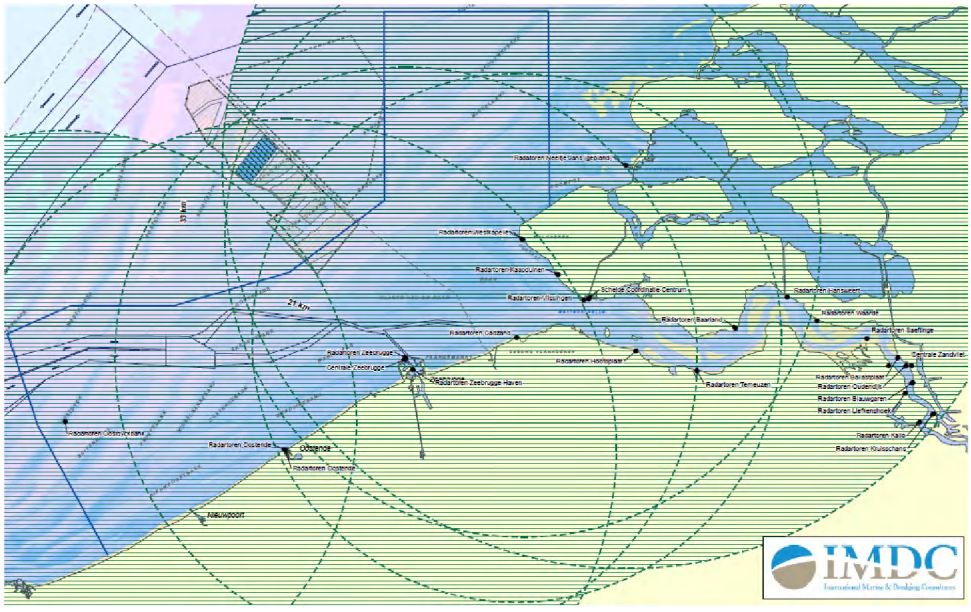
Het optreden van dit effect kan alleen maar wanneer het windturbinepark binnen het werkingsgebied van de radarinstallatie ligt. Door de afstand tussen radarinstallatie en de windparken op zee spelen zowel de kromming van de aarde als de hoogten van radarantenne en object een rol bij dit effect. Dit

levert in variabele LoS bereik op. Bovendien hangt de actieve reikwijdte ook nog af van de bijhorende RCS van het object.

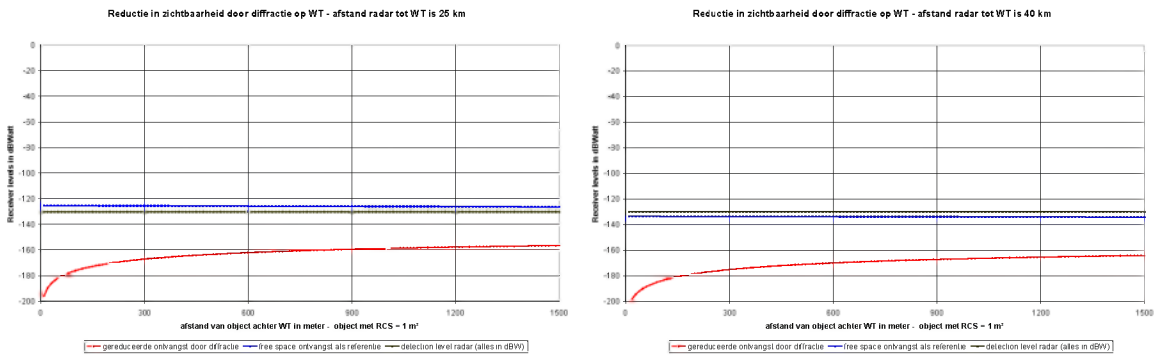
Het is duidelijk dat shadowing en dode zones achter een windturbine(park) alleen maar kunnen optreden wanneer het windpark binnen het actuele actieve gebied ligt. De eerste beperking die dus in aanmerking dient genomen is het LoS bereik van de radarinstallaties. Voor de eenvoud van bespreking worden twee typische gevallen hierna nog eens geresumeerd in Figuur 5-27 en Figuur 5-28. Het is daarbij duidelijk dat de windturbines duidelijk zichtbaar zijn, maar dat de vraag of een object al of niet gemaskeerd wordt, zich alleen maar stelt als dit object onder open omstandigheden ook zichtbaar is.



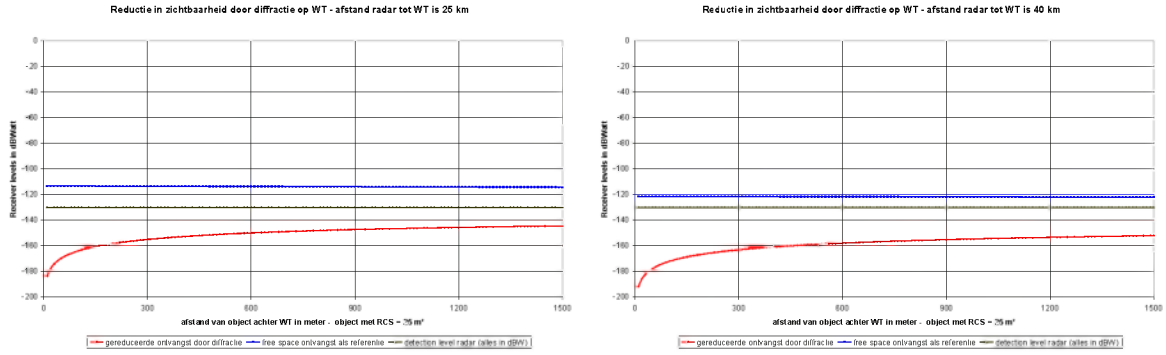
Figuur 5-27 LoS bereik van de SRK radarstations, bij een objecthoogte van 10 m



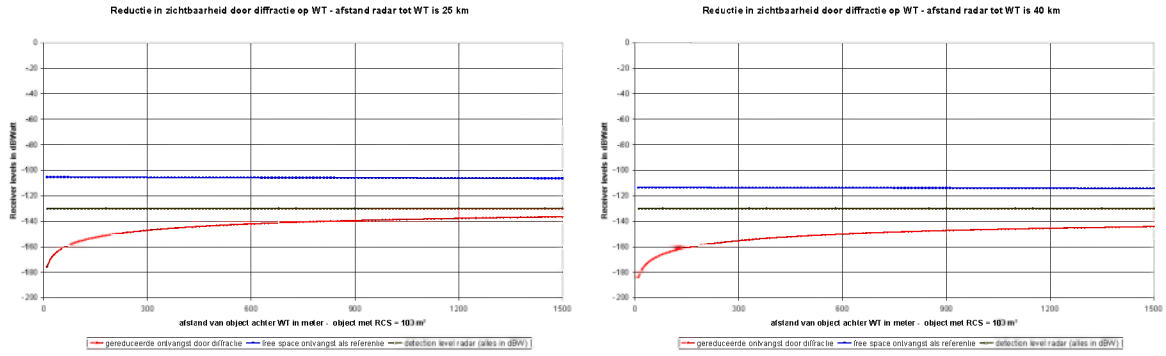
Figuur 5-28 LoS bereik van de SRK radarstations, bij een objecthoogte van 20 m



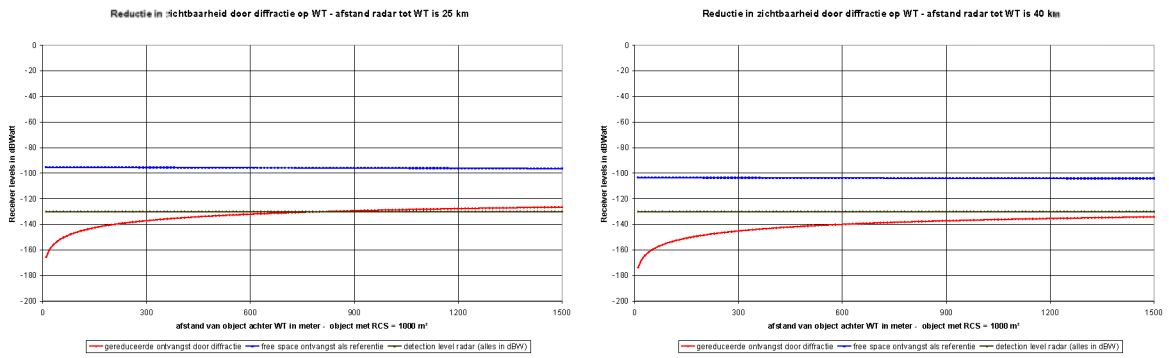
Figuur 5-29 Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km en 40 km, RCS van object 1 m²



Figuur 5-30 Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km en 40 km, RCS van object 25 m²



Figuur 5-31 Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km en 40 km, RCS van object 100 m²

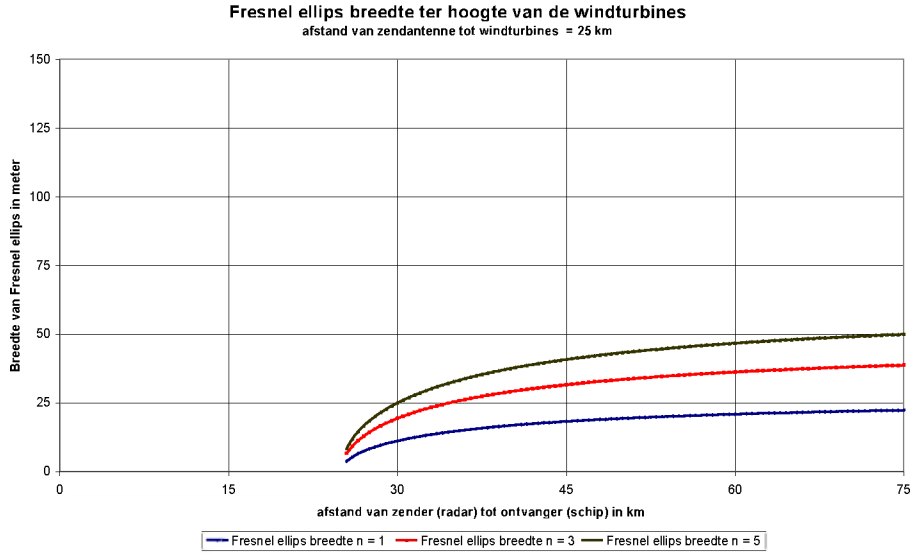


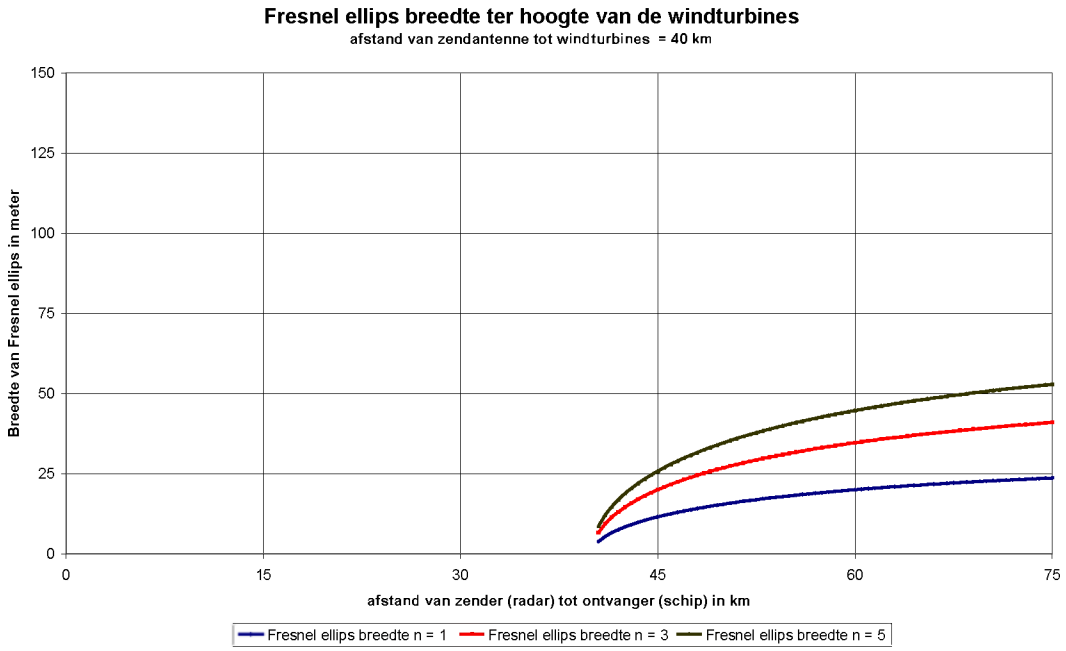
Figuur 5-32 Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km en 40 km, RCS van object 1000 m²

Uit bovenstaande grafieken blijkt dus duidelijk dat ook voor grote objecten met een grote RCS waarde, de zichtbaarheid in lijn achter een windturbine verdwijnt, en er dus een dode "lijn" ontstaat. De vraag is nu of er tussen de verschillende turbines van de windparken een voldoende open ruimte is tot vrije propagatie van de radargolven.

5.4 VRIJE FRESNEL DOORGANG DOORHEEN EEN WINDTURBINEPARK

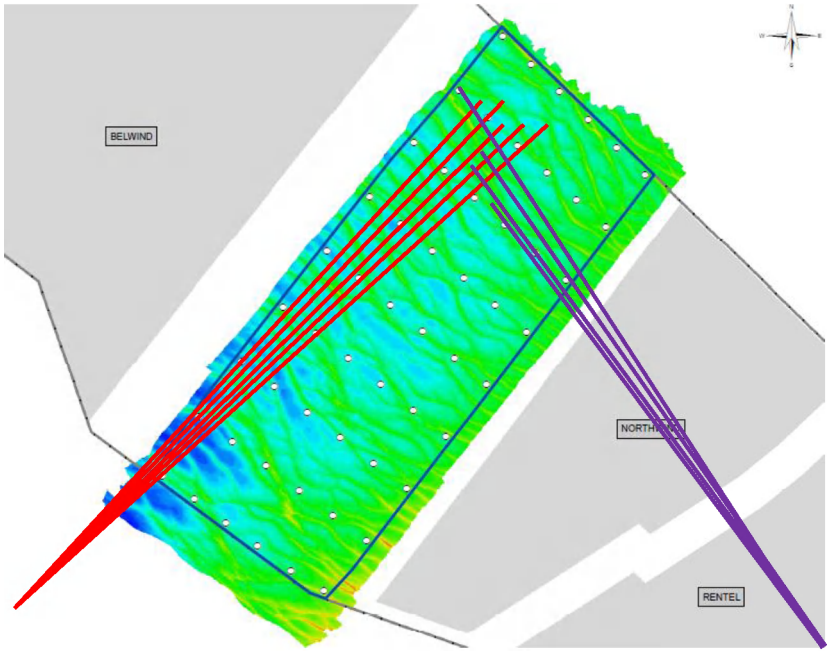
Om een voldoende vrij transmissiepad te verkrijgen voor radiosignalen (en radarsignalen) is een vrije ruimte nodig, die kan ingeschat worden aan de hand van de Fresnel ellips. Voor een primaire radar is daarbij geen hoge protectiegraad nodig, en mag de bijhorende parameter n=1 genomen worden. Voor de windparken op zee wordt hieronder deze voorwaarde gegeven voor een afstand tot de radarinstallatie van 25 km (begin concessiegebied) en 40 km (gemiddelde afstand tot het project SeaStar). Hieruit blijkt dat een voldoende vrije doorgang behouden blijft indien tussen de windturbines open transmissiepaden voorkomen met een breedte van 50 m (2 x de Fresnel straal).





Figuur 5-33 Fresnel ellips voorwaarden voor vrije radiopropagatie tussen objecten

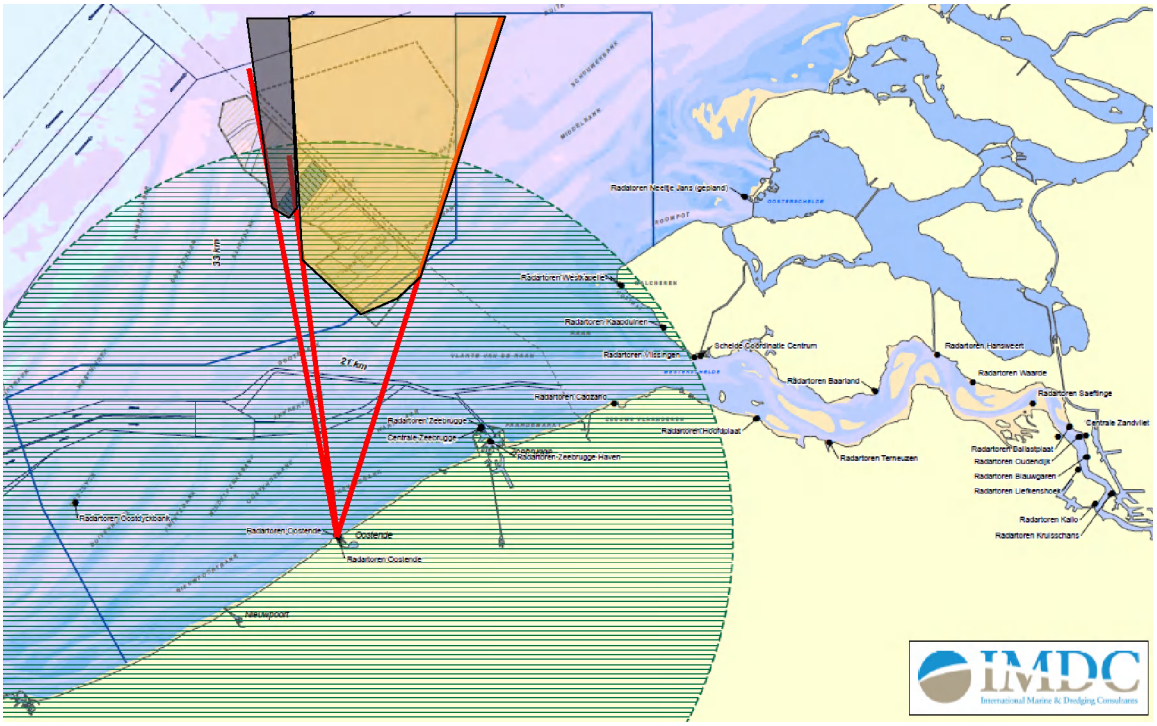
Gegeven de rotordiameter zullen de windturbines in de parkconfiguratie dus op grotere afstand uit elkaar staan, waardoor dus quasi automatisch aan deze voorwaarde voldaan is. De vraag is echter of de windturbines binnenin een windpark opgelijnd staan ten opzichte van de radarinstallaties. Indien dit niet het geval is, zal er toch geen vrij transmissiepad beschikbaar zijn. Dit kan – in functie van de gekozen inplanting van de windturbines binnen het concessiegebied effectief optreden. Bij deze worst case benadering dient het windpark dan als een clustering van windturbines beschouwd te worden, waarbij de attenuatie zoals in sectie 5.3 besproken zich over de volledige breedte van een windpark zal voordoen.



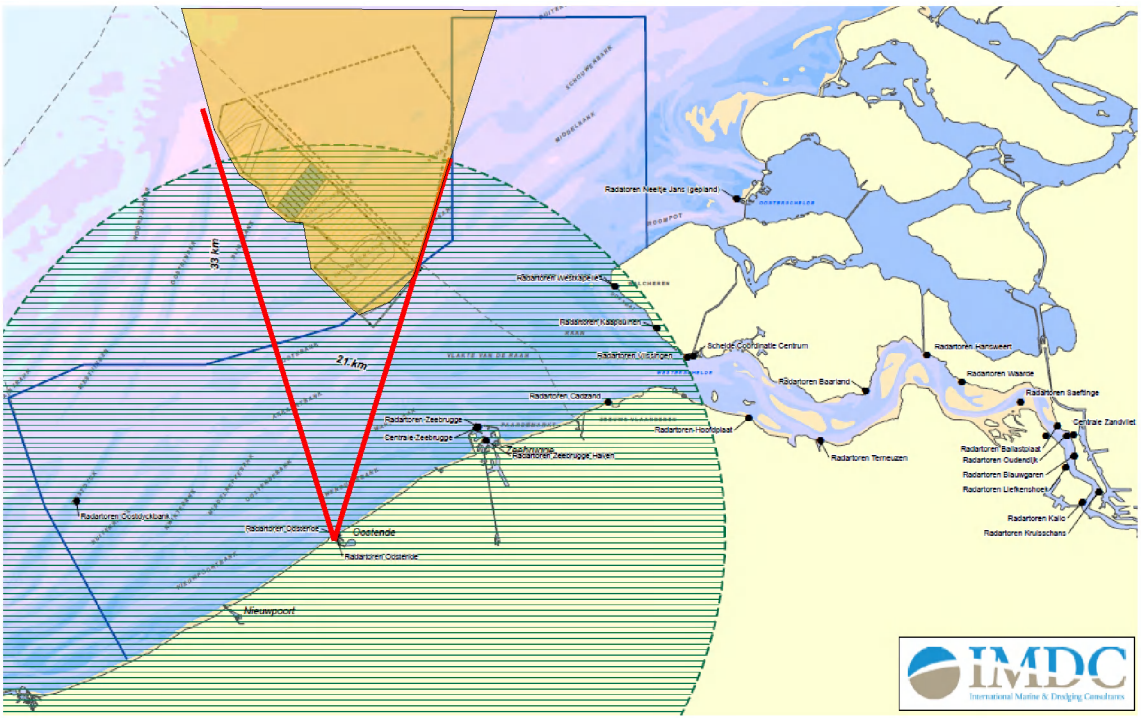
Figuur 5-34 Voorbeelden van een "clustering" bij meerdere niet-opgelijnde windturbines

Er zal dus geen rekening gehouden worden met een mogelijke doorzichtigheid van elk individueel windturbinepark afzonderlijk, noch voor het geheel van alle offshore windparken binnen het concessiegebied. De cumulatieve effecten ten gevolge van meerdere windturbineparken zullen die ondoorzichtigheid alleen maar accentueren. Gecombineerd met de resultaten en conclusies van paragraaf 5.3. kan dus besloten worden dat de windturbineparken een limiet vormen voor de reikwijdte van de radarinstallaties.

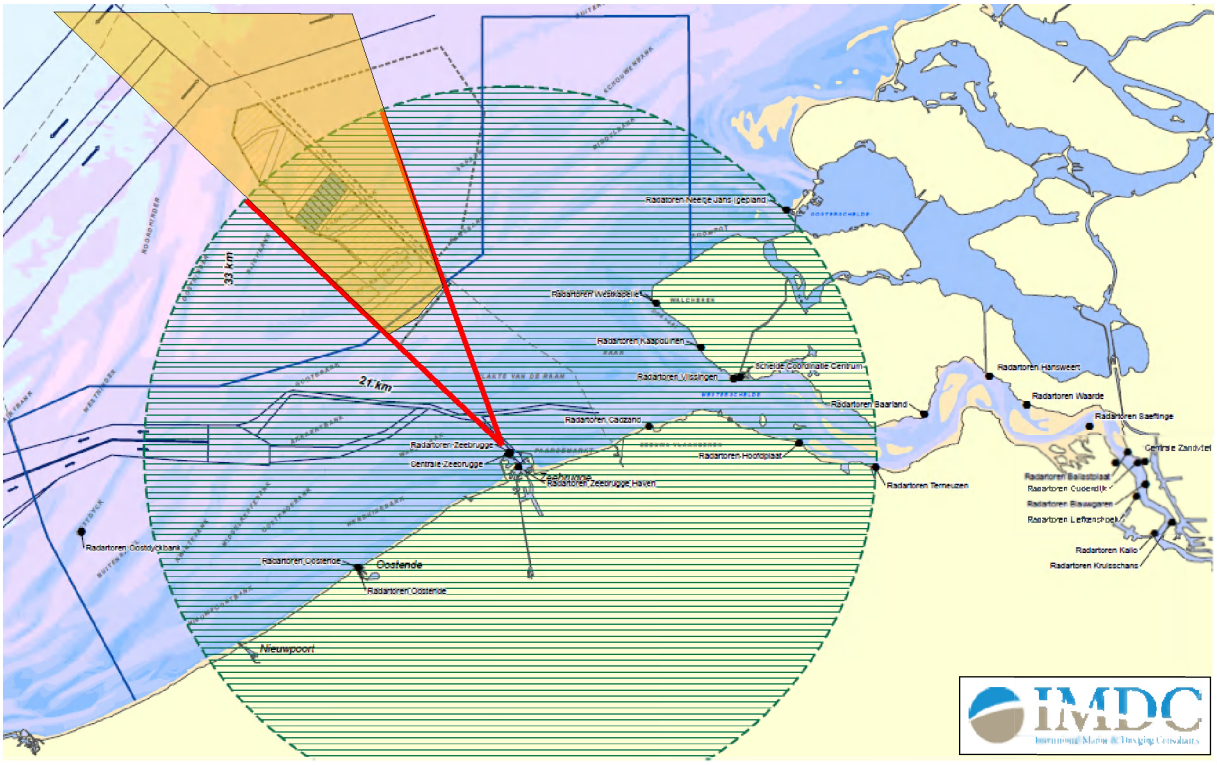
In de volgende figuren wordt een schematisch overzicht gegeven van de blinde radargebieden, van belang voor het project SeaStar ten gevolge van de offshore windparken die landwaarts van SeaStar gelegen zijn en ten gevolge van het totale concessiegebied (cumulatief effect) op het BCP.



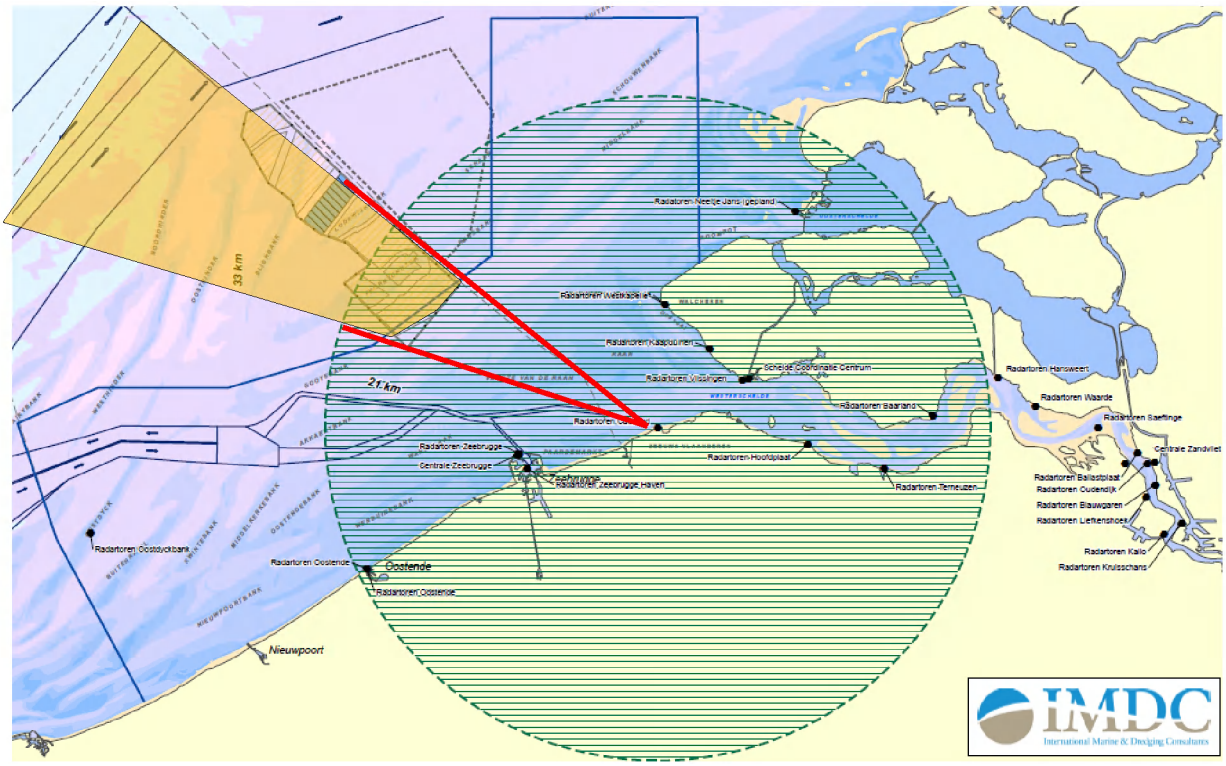
Figuur 5-35 Schaduweffecten voor de radar van Oostende (LoS zone 20 m hoogte) met een effect op SeaStar (oranje zone)



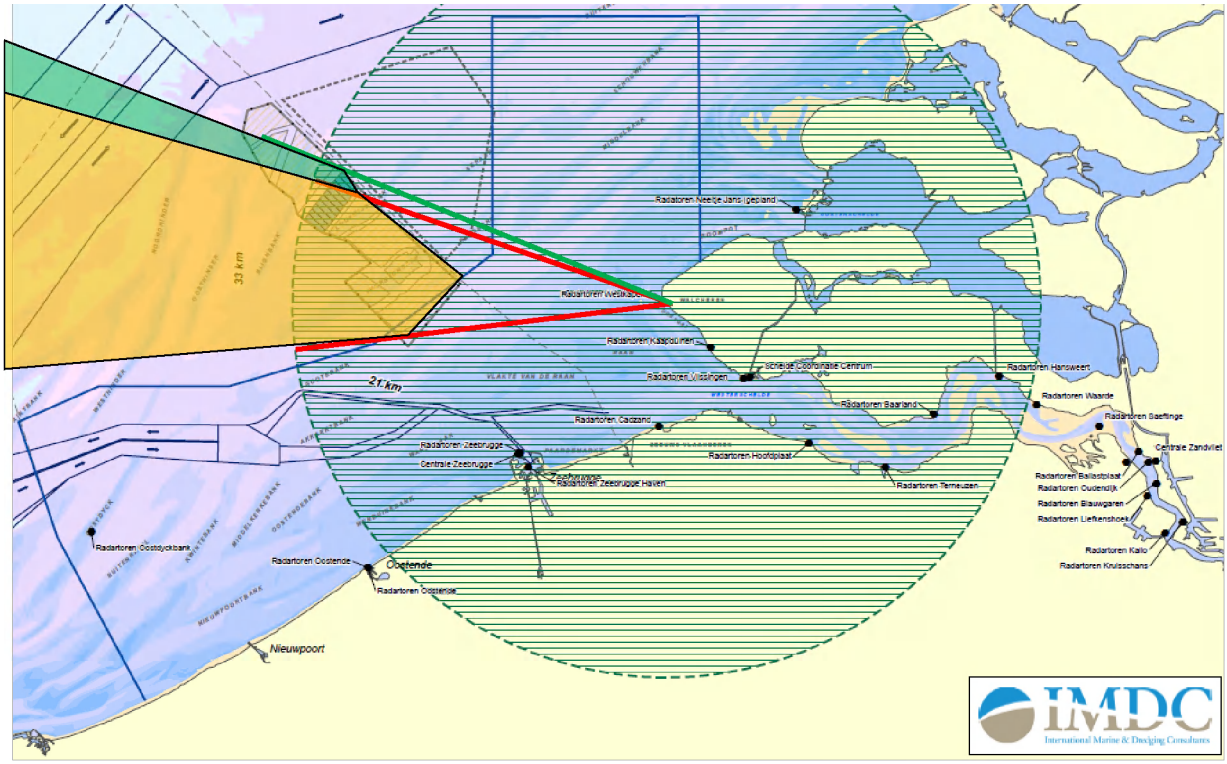
Figuur 5-36 Schaduweffecten voor de radar van Oostende (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied



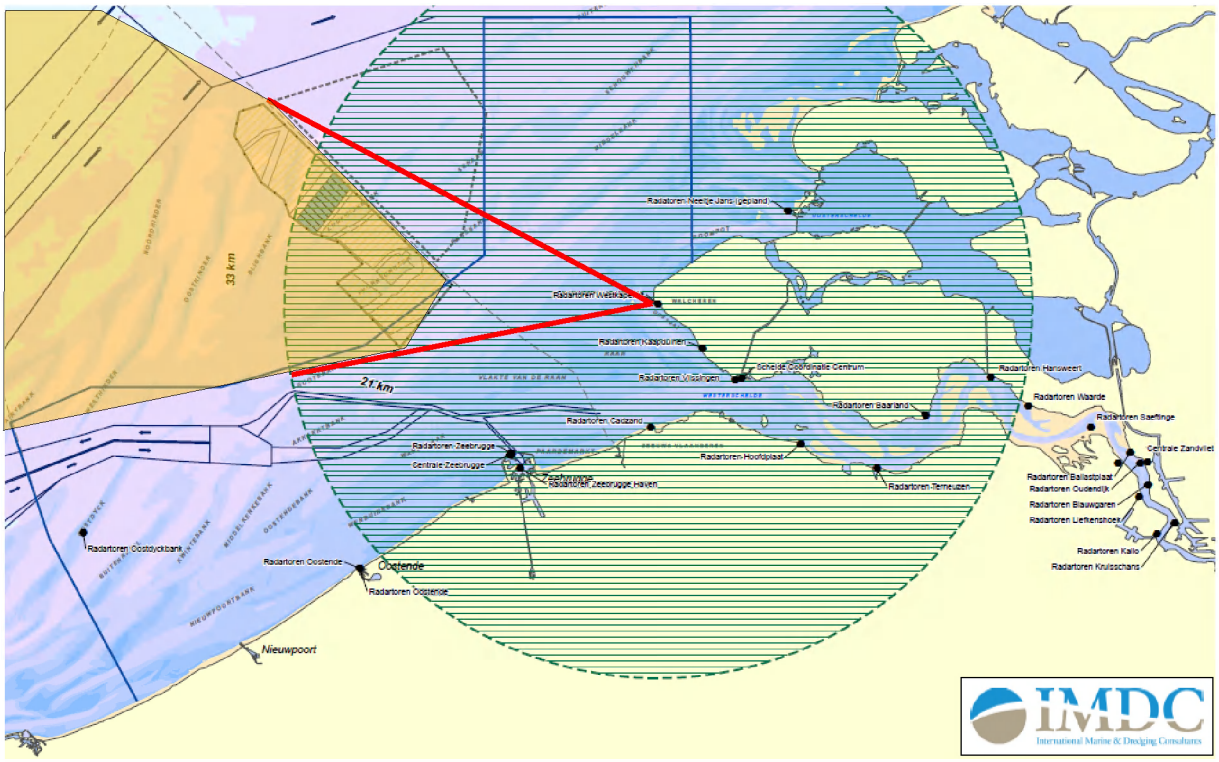
Figuur 5-37 Schaduweffecten voor de radar van Zeebrugge (LoS zone 20 m hoogte) met een effect voor SeaStar, en idem voor het volledige concessiegebied



Figuur 5-38 Schaduweffecten voor de radar van Cadzand (LoS zone 20 m hoogte) met een effect voor SeaStar,en idem voor het volledige concessiegebied



Figuur 5-39 Schaduweffecten voor de radar van Westkapelle (LoS zone 20 m hoogte) met een effect voor SeaStar - de groene zone toont aan dat SeaStar volledig zal verdoken liggen achter de offshore windparken van het concessiegebied Borssele



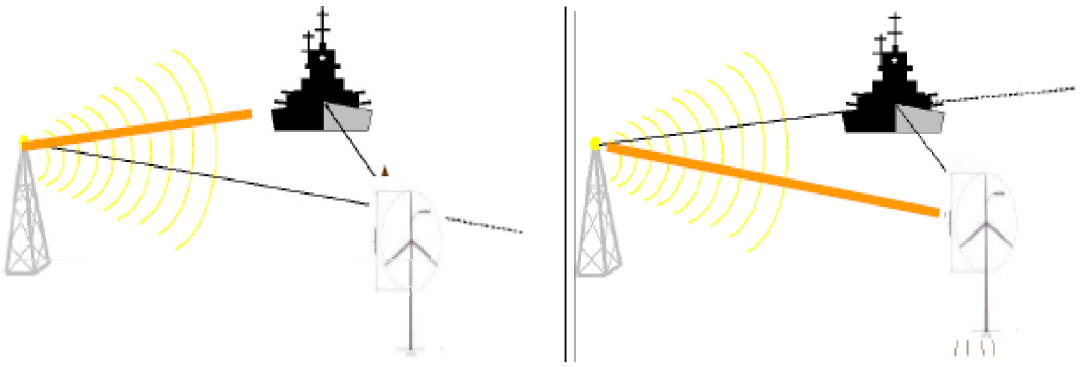
Figuur 5-40 Schaduweffecten voor de radar van Westkapelle (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied

Er kan dus gesteld worden dat de meest landwaarts gelegen offshore projecten van Northwind, Rentel, C-Power en Norther de dominante elementen vormen bij de verminderde reikwijdte en het ontstaan van mogelijk blinde radarzones voor de verschillende radarstations.

Het project SeaStar heeft daarop weinig invloed, want het ligt reeds grotendeels in de radarblinde zones tengevolge van deze meer landwaarts gelegen windparken.

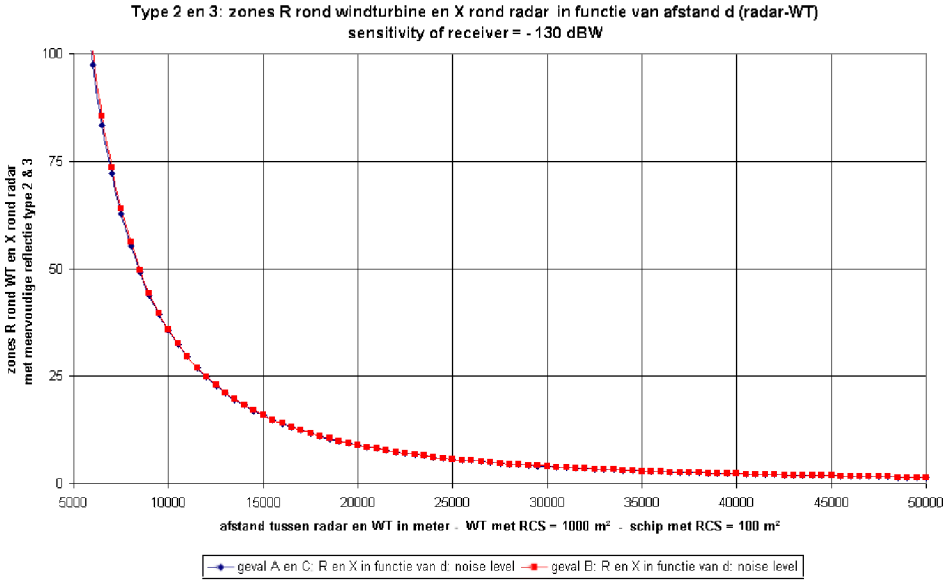
5.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN VALSE ECHO'S

Meervoudige reflecties, en de bijhorende valse echo's komen voor door een rondgaande reflectie, die op een later tijdstip een tweede reflectie genereert en dus een vals echobeeld zal geven. Uit vorige studies en analyses (zie ook studies en aanbevelingen voor ATC van Eurocontrol), zijn maar twee types van meervoudige reflecties belangrijk. Deze worden schematisch weergegeven in Figuur 5-41, waarbij de rode lijn het invallende radarsignaal is, de blauwe lijn de directe (correcte) reflectie en de zwarte lijnen de tweede rondgaande reflectie, die een tweede (vals) beeld achter het eerste object genereert.

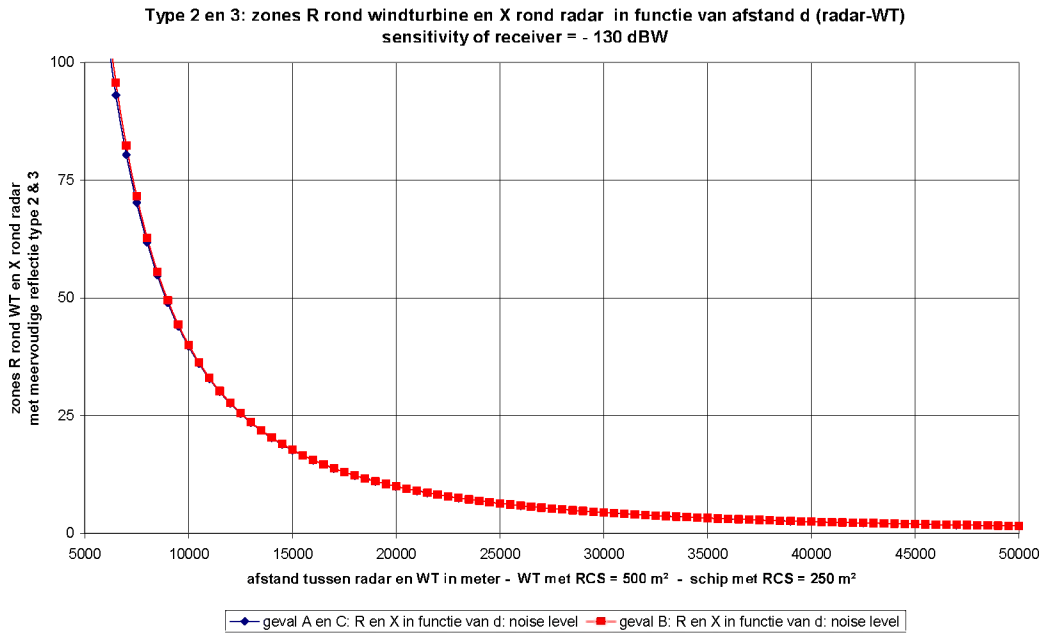


Figuur 5-41 Schematische voorstelling van meervoudige reflecties

De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een windturbine op een afstand van 5 km tot 40 km van de radarinstallaties, voor een tweetal combinaties van verschillende RCS waarden voor de windturbine en het betreffende schip.



Figuur 5-42 Zones rond de windturbines waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan



Figuur 5-43 Zones rond de windturbines waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan

Hieruit blijkt dat deze zones voor een windturbine op een afstand van 25 km ongeveer 10 m bedragen en nog minder op een afstand van 40 km.

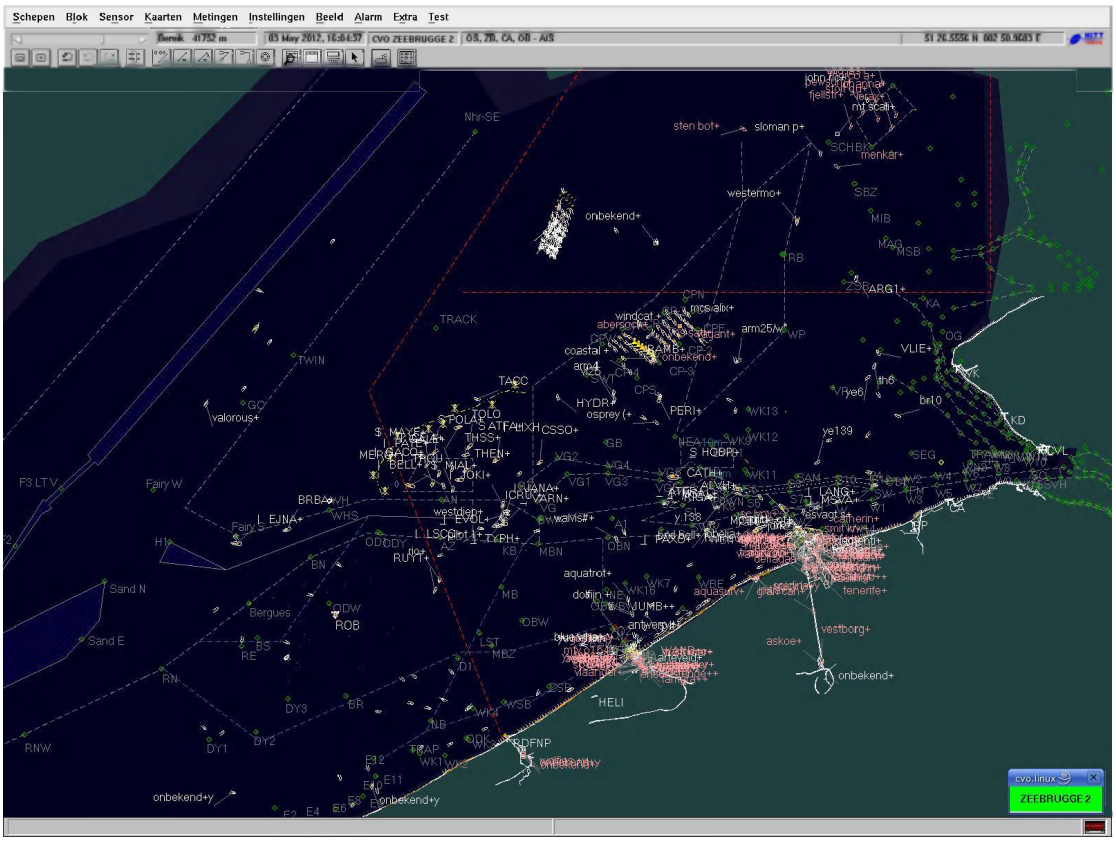
Het mogelijke effect van meervoudige reflecties en valse echo's (of extra beeldvorming) is dus voor deze afstanden tussen windparken op zee en de SRK radarinstallaties aan de wal onbestaande.

5.6 MOGELIJKE CLUTTER DOOR DRAAIENDE ROTOR EN INTERNE REFLECTIES BINNEN HET WINDPARK

Clutter ontstaat door een continu tijdsvariabele reflectie binnen een waarnemingscel. Typisch voor de scheepvaart zijn de wisselende reflecties van de golven. Voor de onderdrukking van deze effecten werden specifieke CFAR algoritmes ontwikkeld voor zeeclutter.

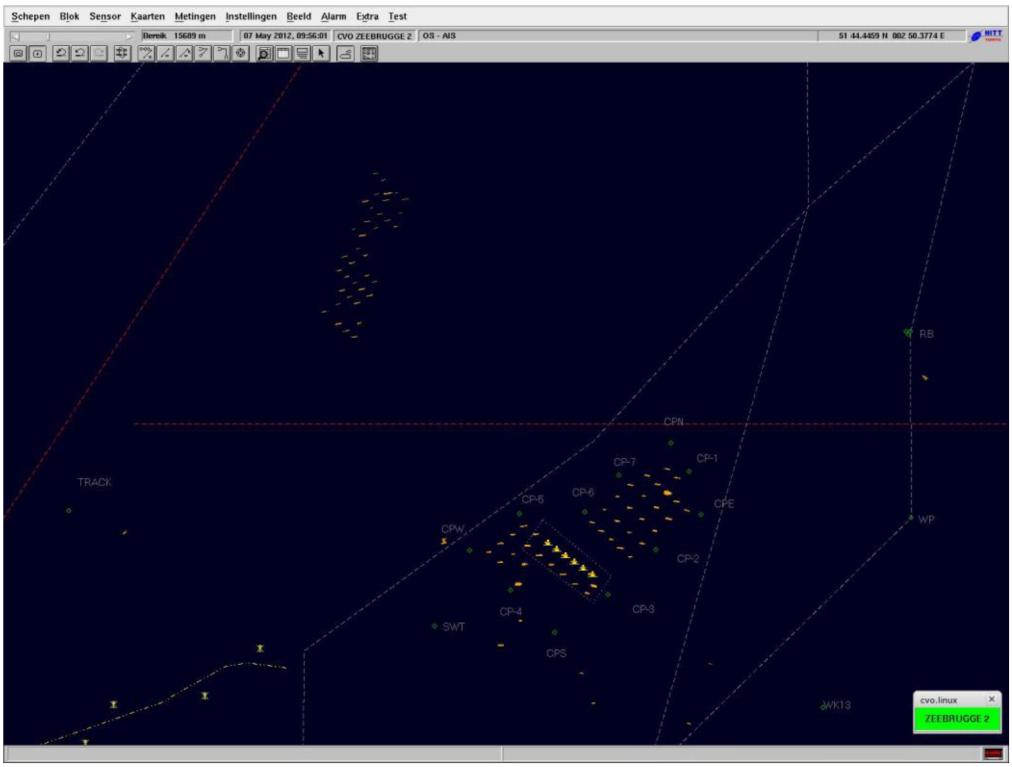
Omdat op grote afstand ("achter de horizon") de rotor van een windturbine toch een aanzienlijke bijdrage levert aan de reflectie, kan hierdoor ook een eigen type clutter ontstaan, en ook een maskering van kleinere objecten door de grotere RCS waarde van de windturbine. Deze effecten zijn bij toepassingen voor de waarnemingen op zee echter niet van belang, en dat in tegenstelling met de luchtvaartbegeleiding. Fysisch kan het inderdaad niet voorkomen dat een schip zich in dezelfde waarnemingscel bevindt als een windturbine, noch in aanliggende cellen (behalve schepen voor onderhoudswerkzaamheden).

Dit blijkt ook duidelijk uit een aantal screenshots van de radarwaarnemingen. Alhoewel een druk scheepvaartverkeer te zien is bij een algemeen beeld (Figuur 5-44), blijkt uit detailbeelden (figuren 43 en 44) dat er rond de bestaande windturbineparken een voldoende vrije ruimte is, zodat bovenstaande effecten geen verdere rol spelen.

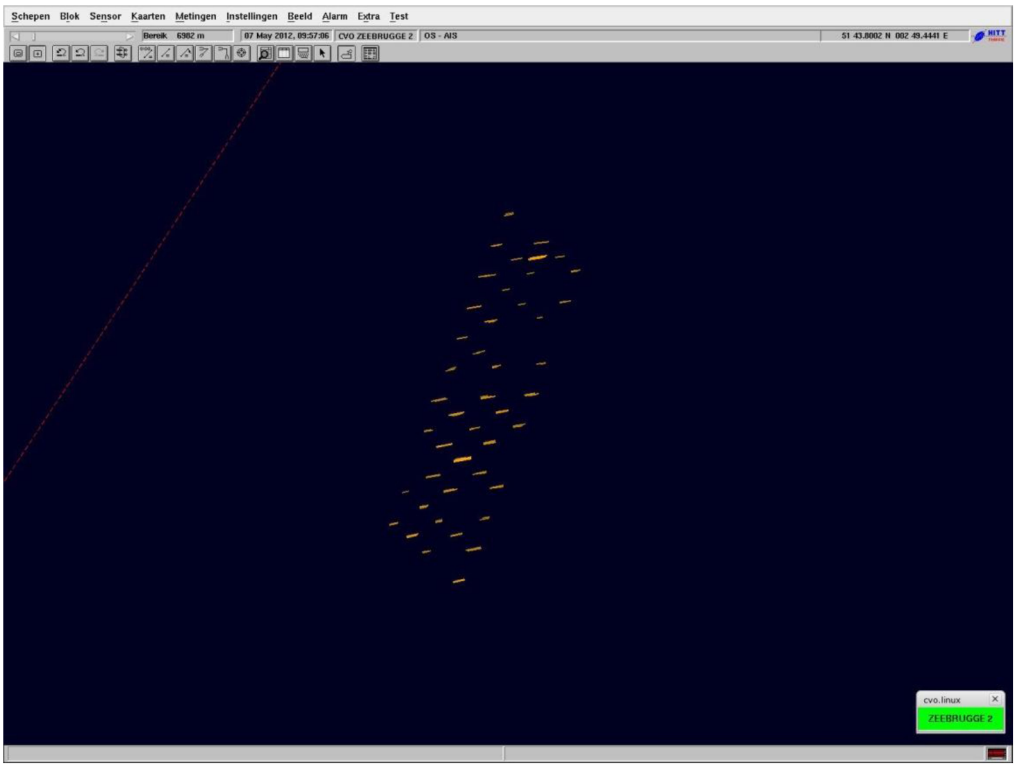


Figuur 5-44 Screenshot – algemeen beeld van het scheepvaartverkeer

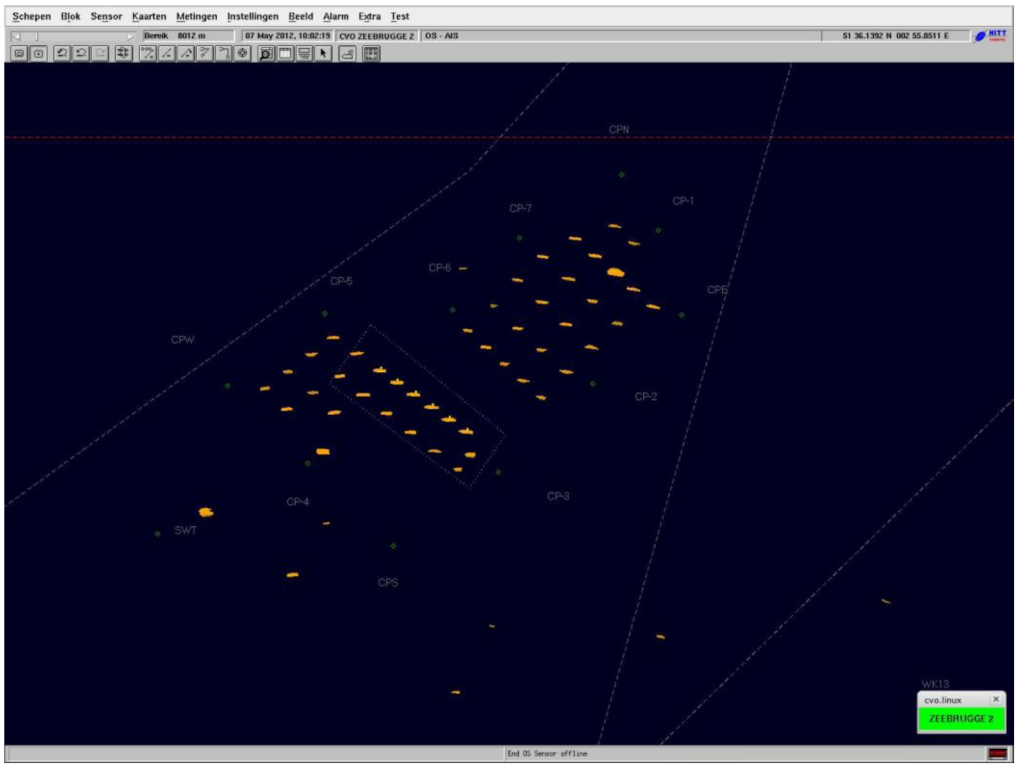
De detailbeelden in de volgende figuren, Figuur 5-45, Figuur 5-46, Figuur 5-47, Figuur 5-48, Figuur 5-49, Figuur 5-50 tonen het scheepvaartverkeer rond de bestaande windparken op zee, voor de radarinstallaties van Oostende (Figuur 5-45, Figuur 5-46 en Figuur 5-47) en Zeebrugge (Figuur 5-48, Figuur 5-49 en Figuur 5-50).



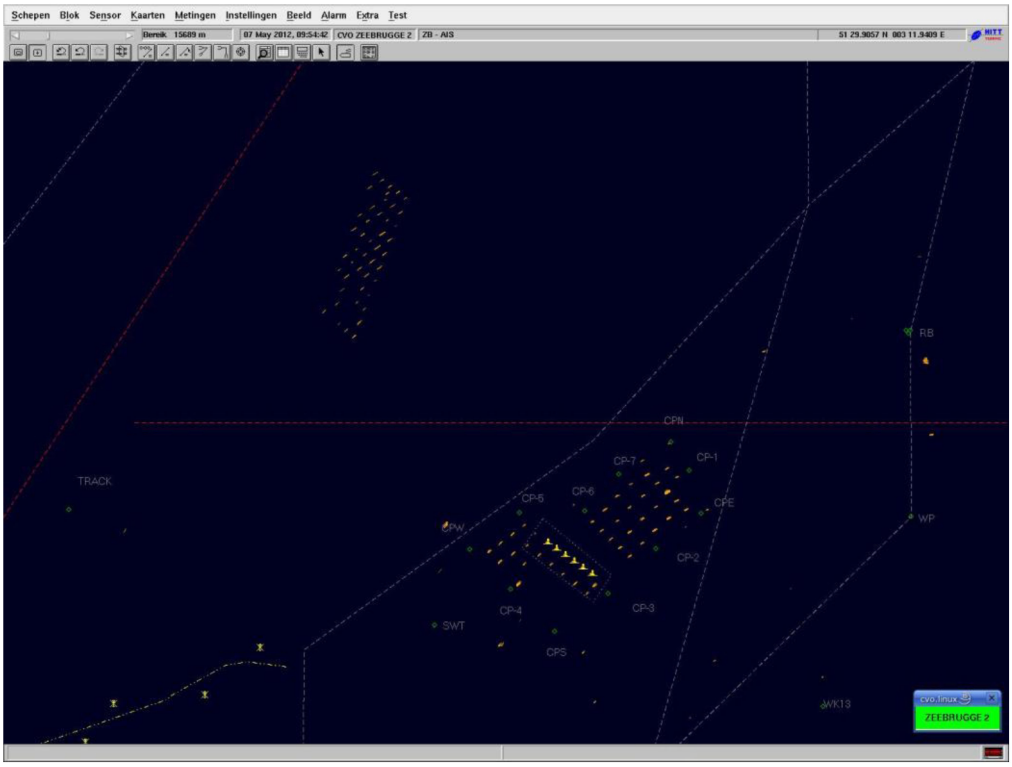
Figuur 5-45 Screenshot van de omgeving van C-Power en Belwind, voor het radarstation van Oostende



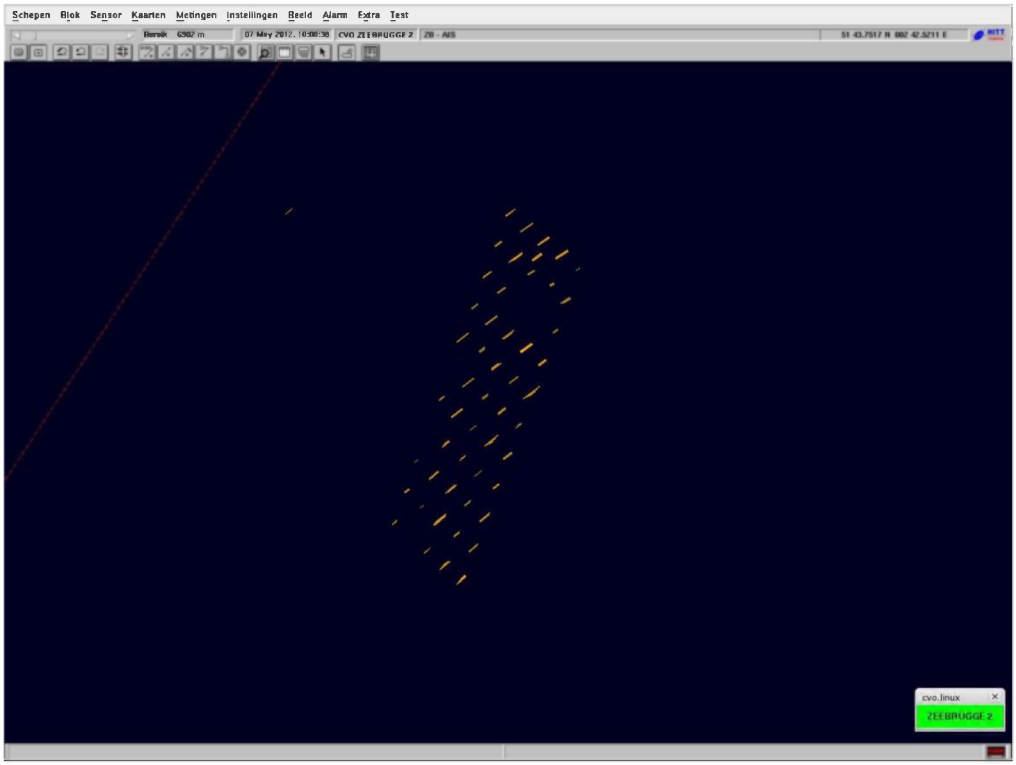
Figuur 5-46 Screenshot van de omgeving van Belwind, voor het radarstation van Oostende



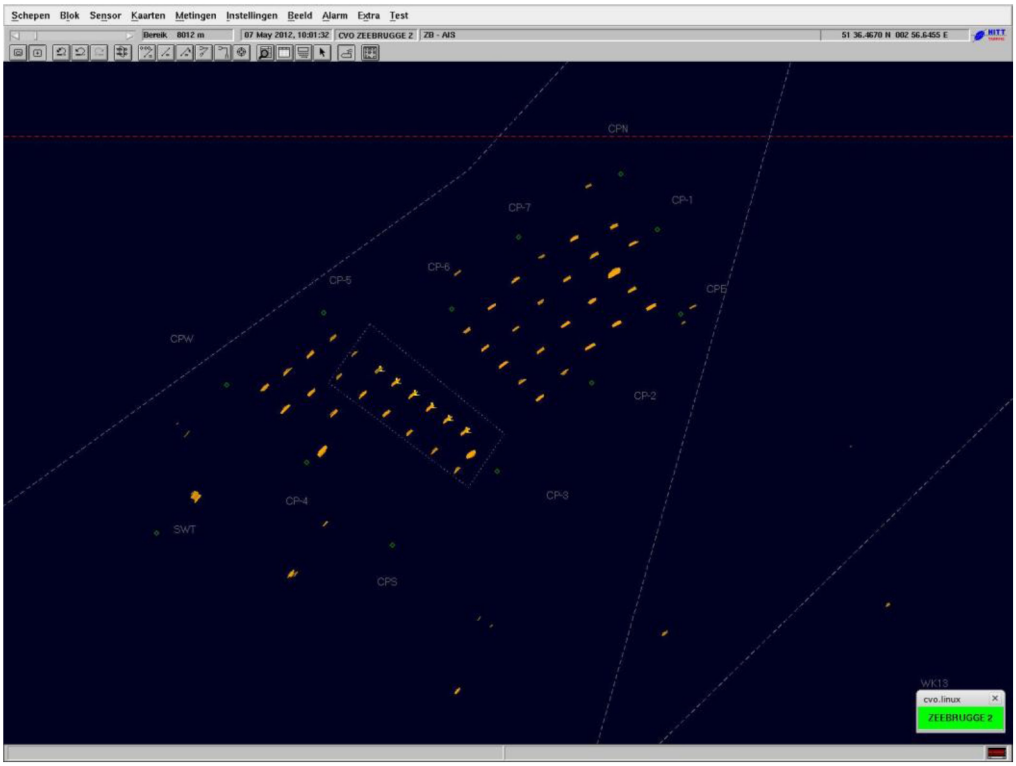
Figuur 5-47 Screenshot van de omgeving van C-Power, voor het radarstation van Oostende



Figuur 5-48 Screenshot van de omgeving van C-Power en Belwind, voor het radarstation van Zeebrugge



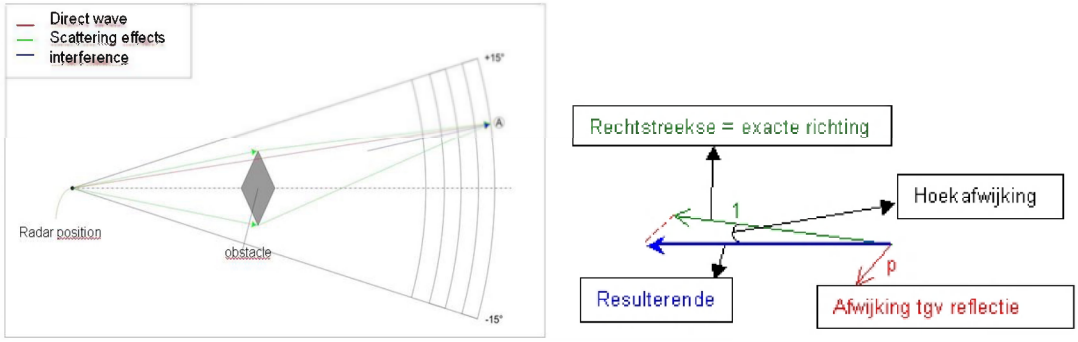
Figuur 5-49 Screenshot van de omgeving van Belwind, voor het radarstation van Zeebrugge



Figuur 5-50 Screenshot van de omgeving van C-Power, voor het radarstation van Zeebrugge

5.7 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE EN DIFFRACTIE

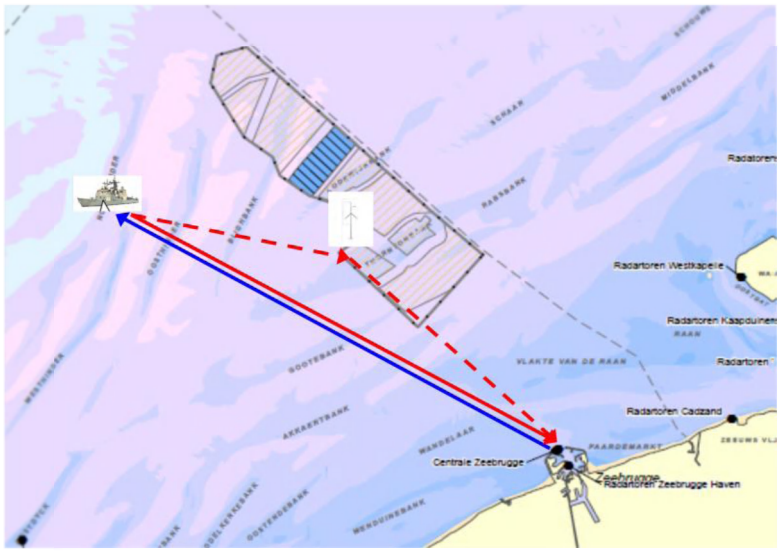
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Dit wordt schematisch aangegeven in Figuur 5-51.



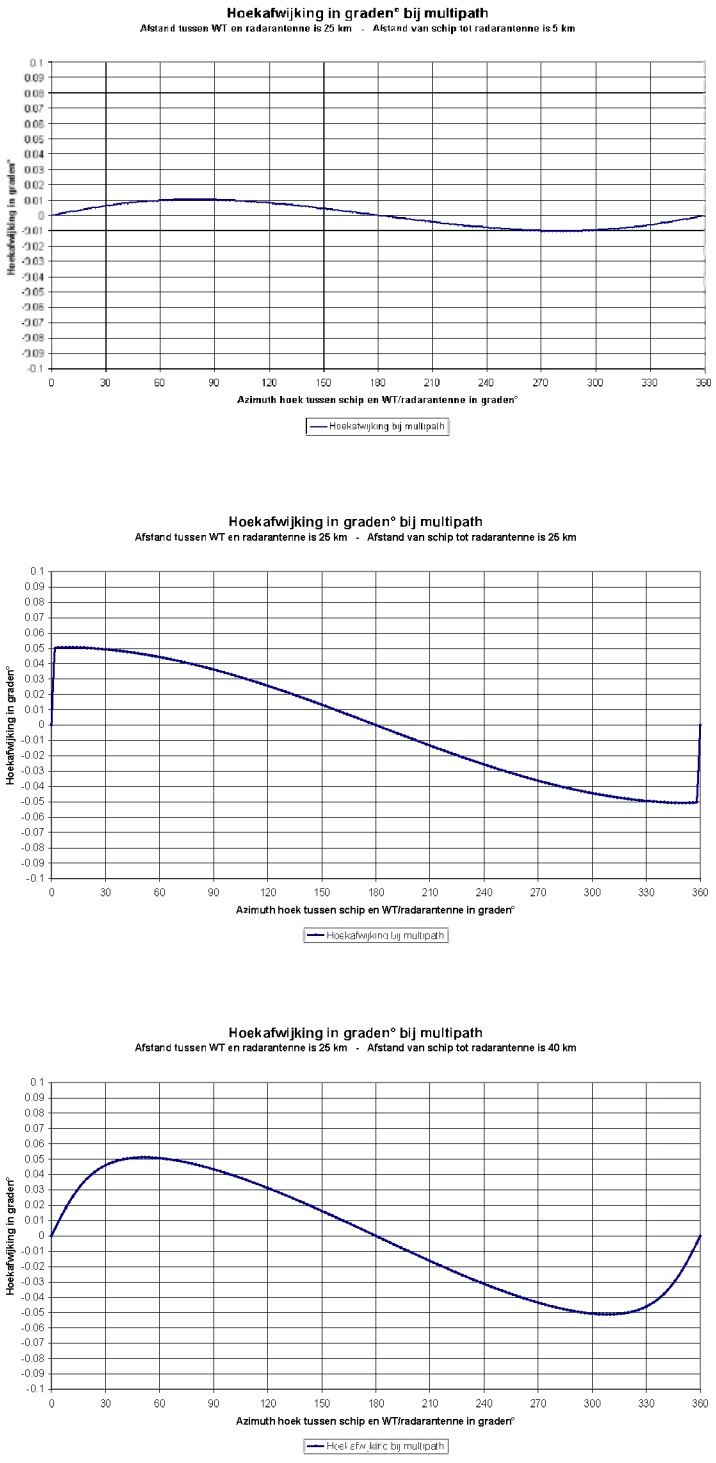
Figuur 5-51 Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effect door diffractie

Uit voorgaande analyses is het duidelijk dat een fout op de waarneming van een object achter een windturbine niet dient in aanmerking genomen te worden, omdat deze radarsignalen reeds voldoende gedempt zijn (zie hoofdstuk 5.3 bovenstaand).

In de volgende grafieken (Figuur 5-53 en Figuur 5-54) wordt de hoekafwijking gegeven ten gevolge van een mogelijke multipath propagatie door reflectie van een gediffracteerde radarbundel op een windturbine voor verschillende combinaties van afstand tussen windparken en radar en voor verschillende liggingen van het schip. Dit mechanisme wordt in de onderstaande Figuur 5-52 geschetst.

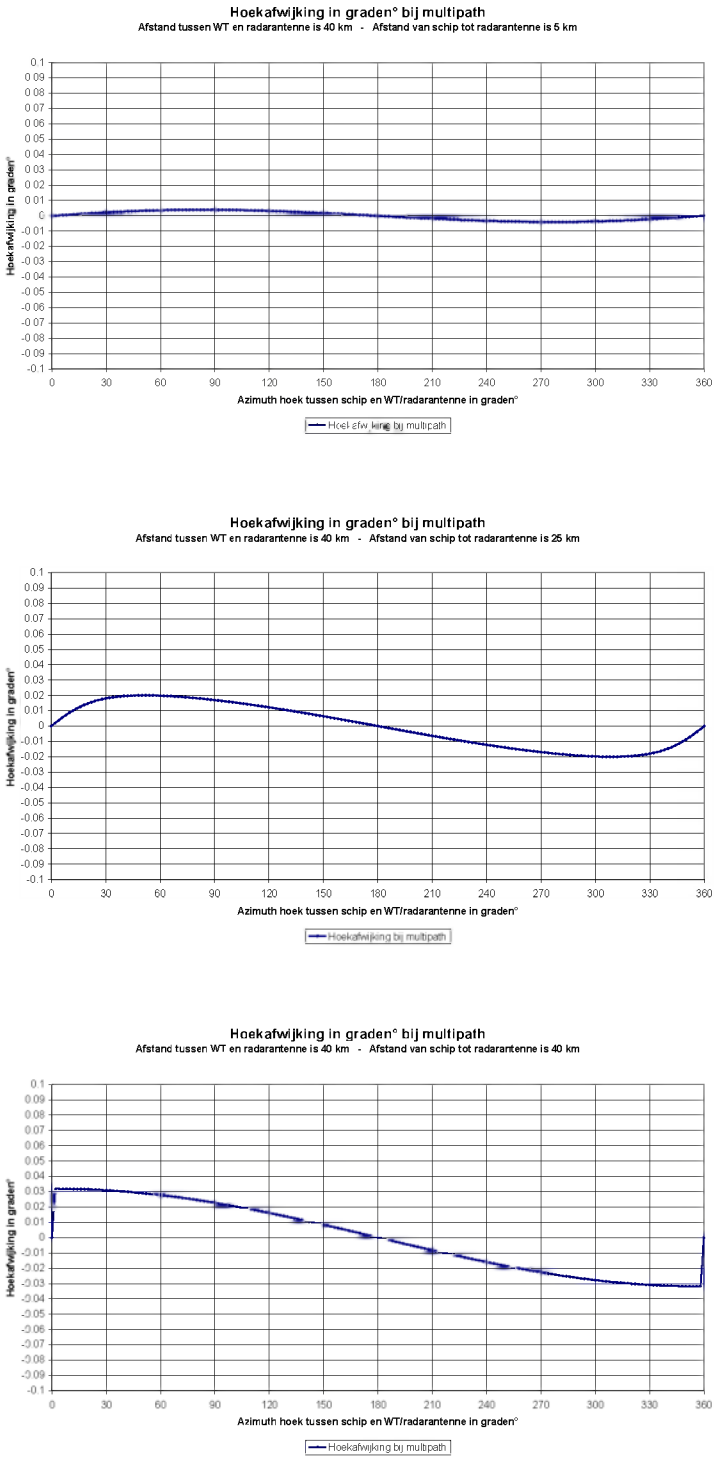


Figuur 5-52 Principeschets van multipath door reflectie op een windturbine



Figuur 5-53 Hoekafwijking door multipath propagatie voor een windpark op 25 km

Uit de analyse volgt dat de hoekafwijking verwaarloosbaar is (< 0.1°), zelfs bij grote RCS waarden van 500 m² voor de betreffende windturbine die het indirecte signaal genereert.



Figuur 5-54 Hoekafwijking door multipath propagatie voor een windpark op 40 km

Uit de analyse volgt dat de hoekafwijking verwaarloosbaar is (< 0.1°), zelfs bij grote RCS waarden van 500 m² voor de betreffende windturbine die het indirecte signaal genereert.

6. IMPACTANALYSE EN CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE SCHEEPSRADAR

Een scheepsradar heeft typisch een piekvermogen van 10 kW. Een typische frequentie is 9410 MHz +/- 30 MHz. Voor de eenvoud van berekeningen wordt in deze studie een frequentie van 10 GHz aangehouden (golflengte 3 cm).

Een typische scheepsradarantenne heeft daarbij de volgende karakteristieken:

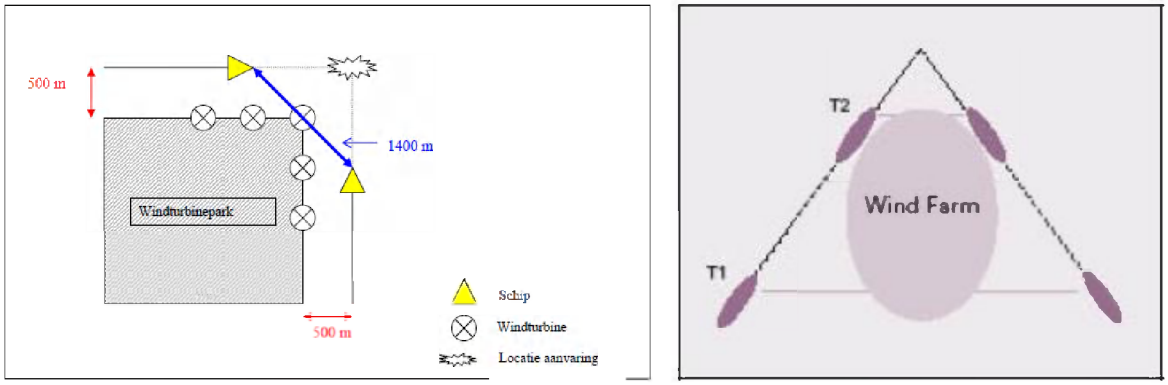
- horizontale polarisatie
- gain hoofdlobe: 30 dBi
- horizontale bundelbreedte: 2°
- verticale bundelbreedte: 25°
- zijlobe onderdrukking: 25 dB
- ruisniveau van de ontvanger: - 119 dBW (-89 dBm)

Afhankelijk van de hoogte van de radarantenne aan boord van de schepen, zal het bereik groter of kleiner zijn door de invloed van de kromming van de aarde. Daarom worden in dit rapport drie hoogtes voor de scheepsradarantenne genomen: 5 m, 10 m en 25 m. Meestal worden deze antennes op één van de scheepsmasten gemonteerd.



Figuur 6-1 Voorbeeld van de montage van de antennes van een scheepsradar op de masten

Een bijkomend aspect is de veiligheid voor het scheepvaartverkeer in de directe omgeving van de windparken. Hierbij worden twee types scheepvaartverkeer verwacht: van en naar (onderhoudswerkzaamheden) de windparken, en rondom de windparken (verleggen van de secundaire navigatieroutes – zie hoofdstuk 1 bovenstaand). Voor dit “veranderend” scheepvaartverkeer is het van belang dat schepen die zich binnen of achter een windturbinepark bevinden goed en snel waargenomen kunnen worden.



Figuur 6-2 Voorbeelden van beperkte zichtbaarheid rond een windturbinepark

Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat de situaties van Figuur 6-2 zich hoofdzakelijk voordoen bij de windparken op de uiterste grenzen van het concessiegebied, maar voor het project SeaStar veel minder van toepassing zijn. Dit komt door het feit dat in de toekomst enkel nog zeer beperkte corridors tussen windparken kunnen beschikbaar zijn, met in acht name van de veiligheidsafstanden van 500 m (*zie KB 11/4/2012 – BS 1/6/2012*).

Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat de situaties van Figuur 6-2 zich hoofdzakelijk voordoen bij de windparken op de uiterste grenzen van het concessiegebied, maar voor het project SeaStar veel minder van toepassing zijn. Dit komt door het feit dat in de toekomst enkel nog zeer beperkte corridors tussen windparken kunnen beschikbaar zijn, met in acht name van de veiligheidsafstanden van 500 m (*zie KB 11/4/2012 – BS 1/6/2012*).

In verband met de bewaking en de beveiliging van windturbineparken, tonen verschillende studies aan dat bewegende vaartuigen die binnen een windturbinepark opereren ook nog kunnen waargenomen worden, mits een radarstation op voldoende korte afstand. Zie hiervoor specifiek de studies (zie ook literatuuroverzicht):

Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind Farm, BWEA & DTI, April 2007

Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, QinetiQ, November 2004

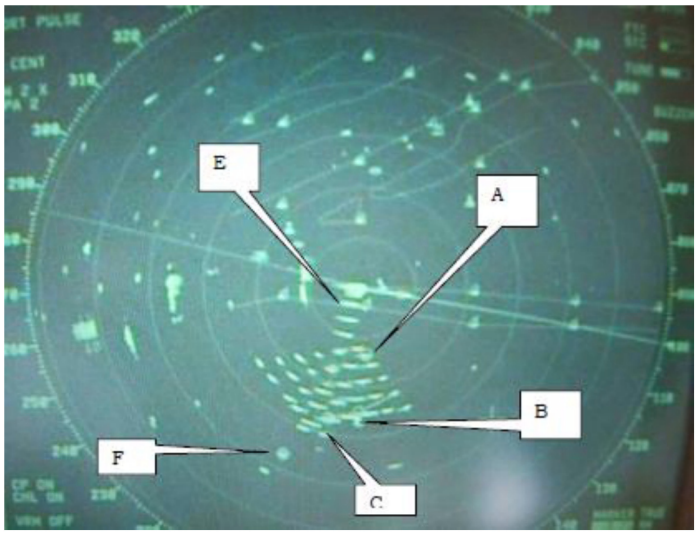
Report of the Effect of Radar Performance of the proposed CAPE Wind Project, submitted to the US Coast Guard, annex M, December 2008

Hierbij komen duidelijk twee items naar voor:

- van op korte afstand blijven ook kleine schepen die zich binnen het windpark bevinden zichtbaar, en kunnen schepen doorheen het windpark waargenomen worden

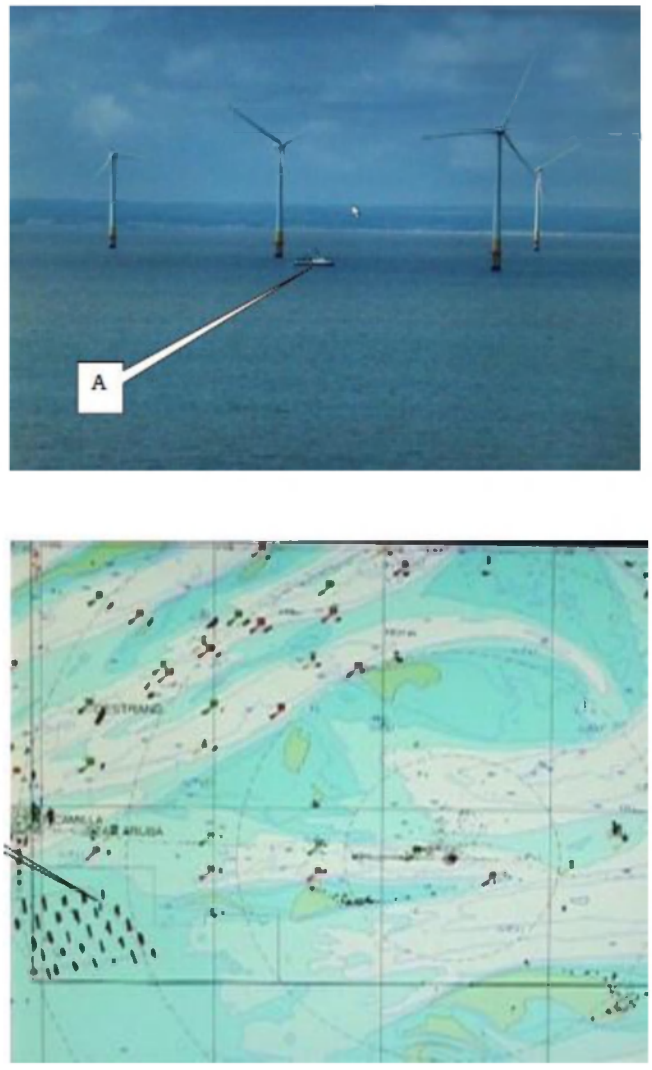


Figuur 6-3 Voorbeeld van het Kentish windpark als referentie



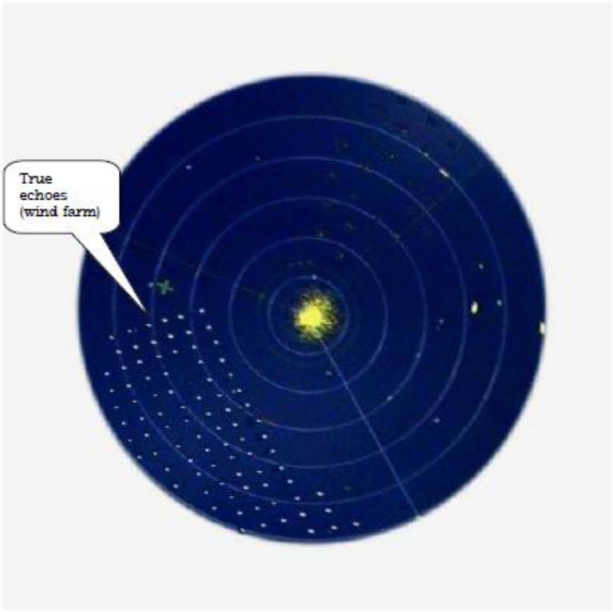
Figuur 6-4 Voorbeeld van het Kentish windpark met schepen in de buurt

Bij de waarnemingen (centraal punt) is een schip A in het windpark nog zichtbaar, evenals de schepen B, C en F aan de overkant van het windpark. Verder zijn er meervoudige reflecties E te zien van een schip dat tussen het waarnemingspunt dicht bij het windpark voorbijvaart.

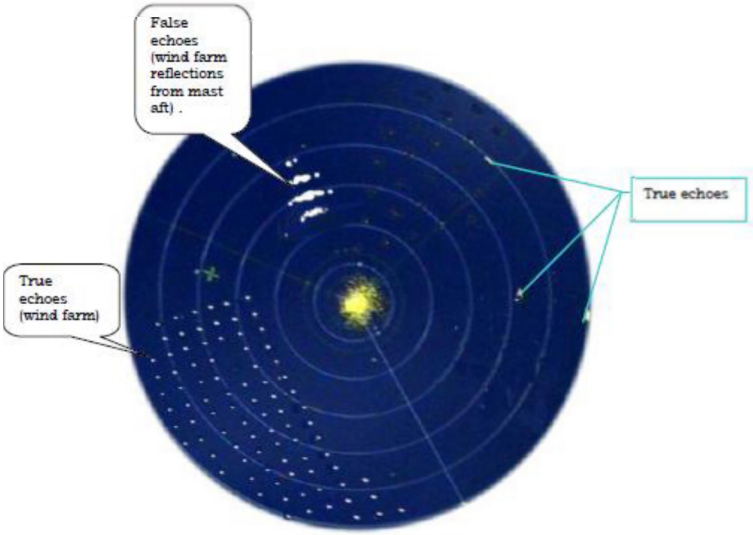


Figuur 6-5 Nog een voorbeeld van een schip, in het windpark (A), dat zichtbaar blijft op een scheepsradar

- er treden valse echo's op, maar die zijn meestal te wijten aan reflecterende voorwerpen aan boord van het schip zelf. Toch zijn voorbeelden bekend van valse echo's ten gevolge van een windpark, zoals hieronder weergegeven voor het Nantucket windpark.



Figuur 6-6 Het referentiebeeld voor het Nantucket windpark



Figuur 6-7 Beeld van het Nantucket windpark met schepen (rechts) en reflecties van een mast

In de volgende paragrafen worden een aantal van deze effecten meer in detail geanalyseerd.

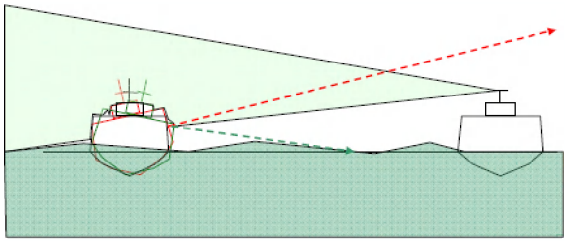
6.1 CONTROLE VAN DE ZICHTBAARHEID VAN DE WINDTURBINES

In eerste instantie dient nagegaan te worden in hoeverre de windparken zichtbaar zijn, binnen de beperkingen van geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de scheepsradar.

Tabel 6-1 LoS afstanden voor de scheepsradar

	Object hoogte in m			
Antenne hoogte	3 m	10 m	20 m	100 m
5 m	16 km	22 km	27 km	50 km
10 m	20 km	26 km	31 km	54 km
25 m	27 km	33 km	38 km	61 km

Door het bewegen van een schip, zal deze afstand echter veranderlijk zijn, zodat het LoS bereik met een zekere marge dient gehanteerd te worden. De schommeling van een radarbundel is schematisch weergegeven in Figuur 6-8. Ook de RCS kan daardoor wijzigen, maar dat zal minder effect ressorteren op het feitelijke bereik.



Figuur 6-8 Verandering in LoS bereik door het rollen van een schip

Het bereik van de scheepsradar in functie van de RCS van het waar te nemen object wordt gegeven in de volgende reeks grafieken van Figuur 6-9, en kan als volgt samengevat worden:

Tabel 6-2 Overzicht van het radarbereik van een scheepsradar in functie van RCS van een object

RCS	1 m²	10 m²	25 m²	100 m²	1000 m²
Bereik	7 km	10 km	14 km	20 km	30 km

Uit de combinatie van LoS bereik en signaalsterkte kan besloten worden dat een feitelijk bereik van de scheepsradar zich situeert tussen 7 km (voor zeer kleine schepen) tot 20 km (voor grotere containerschepen). Een goed gemiddelde is daarbij een RCS van 25 m², wat een bereik inhoudt van 14 km (ongeveer 8 NM). Het is bovendien duidelijk dat de windturbines van op relatief grote afstand zichtbaar zijn, ook van op kleinere schepen met een beperkte masthoogte.

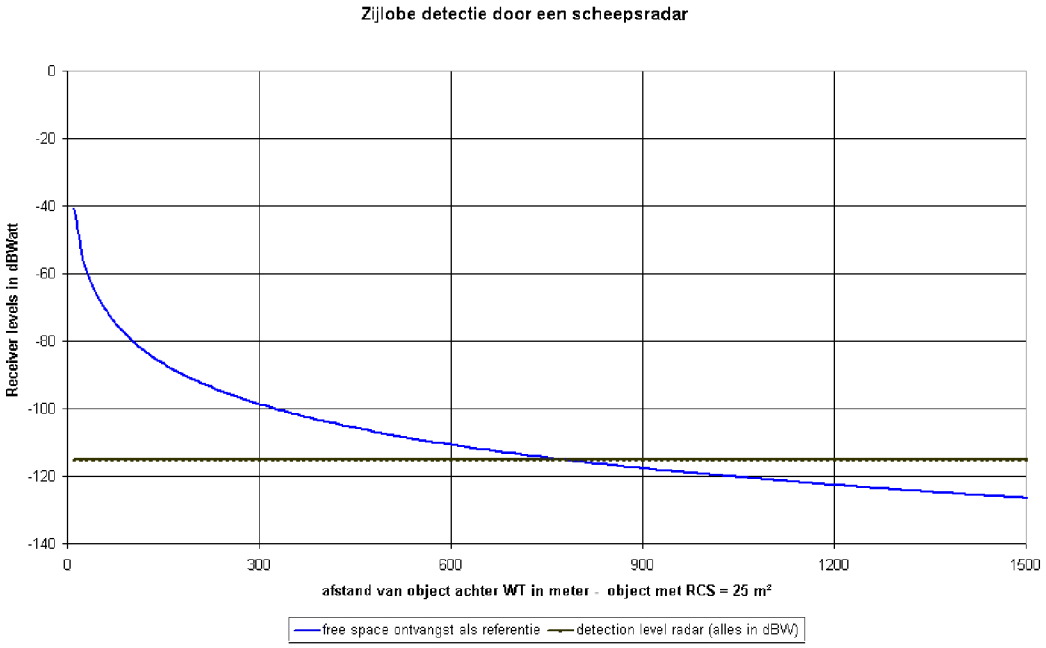
Voor een analyse van een aantal effecten zullen posities van de scheepsradar genomen worden voor afstanden van 1 km, 5 km, 10 km en 20 km genomen worden.

6.2 MOGELIJKE DETECTIE DOOR ZIJLOBES

Zoals hoger aangehaald kan een detectie door de zijlobes van de radarantenne aanleiding geven tot een valse echo in het radarbeeld. Voor een scheepsradar ligt de afstand tussen radarantenne (schip) en object waarbij een detectie via de zijlobes (met een zijlobe onderdrukking van 25 dB),

mogelijk is, op een afstand van 750 m voor objecten met een typische RCS van 25 m². Dit kan oplopen tot 1250 m à 1500 m voor grotere objecten.

Er zal zich dus alleen een valse beeldvorming van de windparken op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de radar op voldoende korte afstand van de windparken.

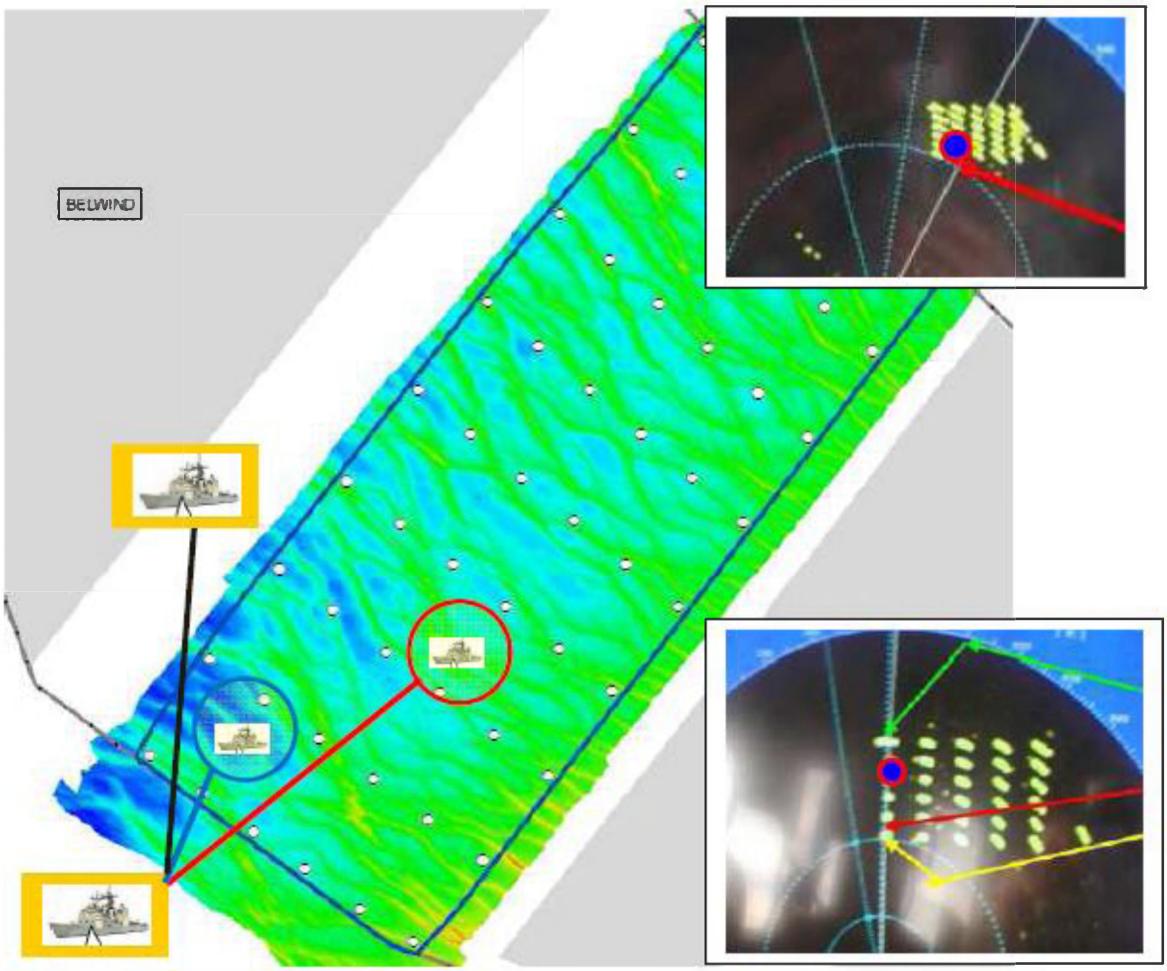


Figuur 6-9 Zijlobe detectie van een scheepsradar voor een object met een RCS = 25 m²

6.3 SHADOWING EN DODE ZONES

Het probleem van mogelijke shadowing en dode zones stelt zich hoofdzakelijk naar de zichtbaarheid van schepen die zich in het windpark bevinden (o.a. voor onderhoudswerk), schepen achter een windpark (botsingsgevaar) en schepen die het windpark verlaten. Zie ook Figuur 6-2 voor een schets van mogelijke situaties.

In de volgende detailkaart van één van de mogelijke inplantingen van het windpark SeaStar is het duidelijk dat typische afstanden tussen de windturbines ongeveer 750 m zijn. Een realistische benadering is een schip in het windpark te beschouwen op een afstand van 350 m achter de eerste rij windturbines, zowel naar inkijk als naar het uitvaren van een schip.



Figuur 6-10 Voorbeeld van één van de mogelijke inplantingen van windturbines in SeaStar

In bovenstaande Figuur 6-10 worden een aantal situaties geschetst voor een schip op 1 km afstand van het windpark, en met 3 mogelijke liggingen van een tweede schip in en net buiten het windpark. Voor de blauwe verbindingslijn dient de shadowing en eventuele dode zone achter een windturbine in aanmerking genomen te worden. Dit is dus een ligging van een schip dat precies in lijn achter een windturbine ligt. De overige twee situaties hebben een vrij radiopad, waarvoor de Fresnel (ellips) voorwaarde dient gecontroleerd te worden (zie 6.4).

De inzet boven toont een radarbeeld waarbij een schip (aangegeven met rood omrande blauwe stip) dat zich net binnen het windpark bevindt nog zichtbaar blijft door een voldoende open afstand tussen windturbines.

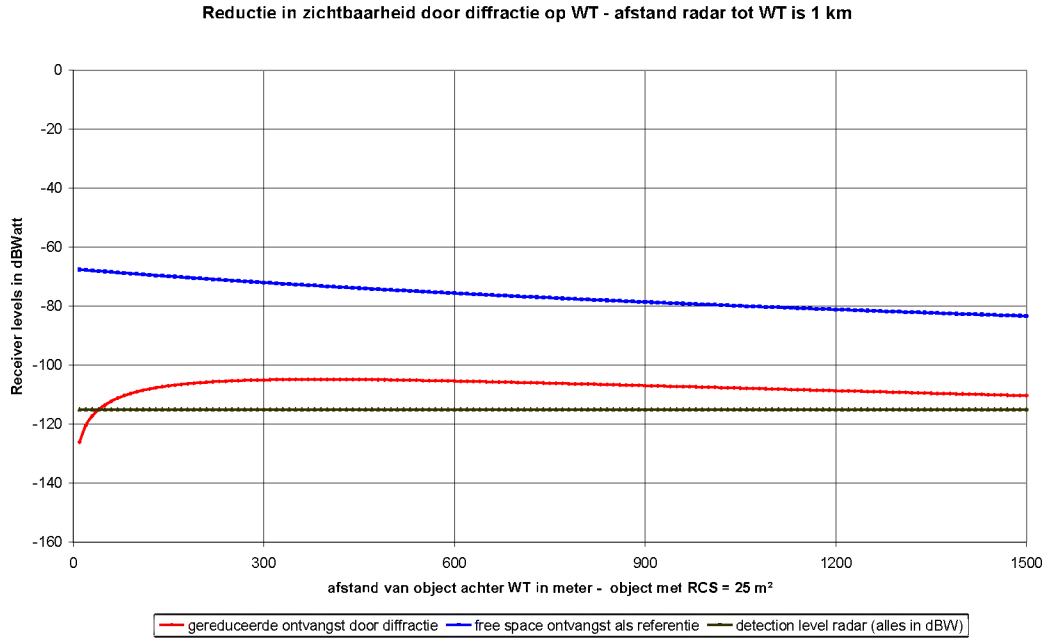
De inzet onder toont een cumulatie van windturbines op één lijn, die een radarblinde zone als gevolg zal hebben, en waardoor een schip dat zich op die lijn bevindt, onzichtbaar wordt.

In deze paragraaf wordt de verzwakking achter een windturbine (in lijn) nagegaan voor schepen op een afstand van 1 km en 5 km tot het windpark. En een tweede geval waarbij een schip op een afstand van 350 m in het windpark, achter een windturbine, een radarbeeld van het buitengebied dient te capteren vooraleer het windpark uit te varen.

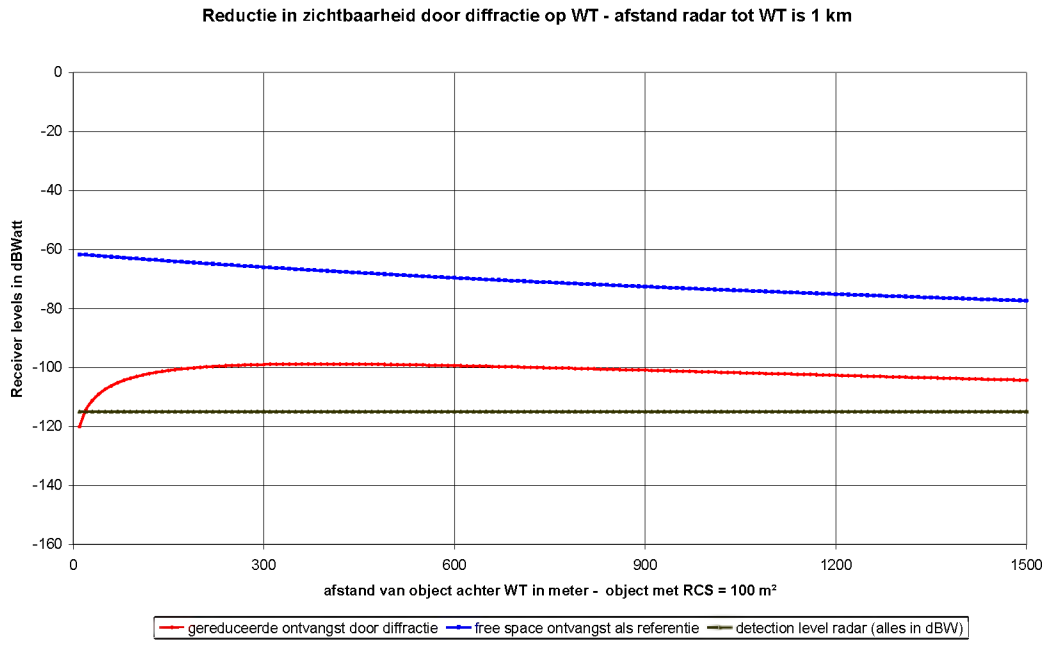
Uit deze analyses volgt dat een schip op een afstand van 1 km objecten achter een windturbine nog kan waarnemen. De voorbeelden omvatten een object met een RCS van respectievelijk 25 m² en 100 m². Het gedempte signaal ten gevolge van de shadowing is de rode lijn op de grafieken. De blauwe lijn is de situatie “free space”, waarbij geen storende voorwerpen op het signaalpad voorkomen.

Voor een schip op een afstand van 5 km tot het windpark worden nagenoeg geen objecten binnen in het windpark waargenomen, behalve de windturbines zelf met een voldoende grote RCS waarde.

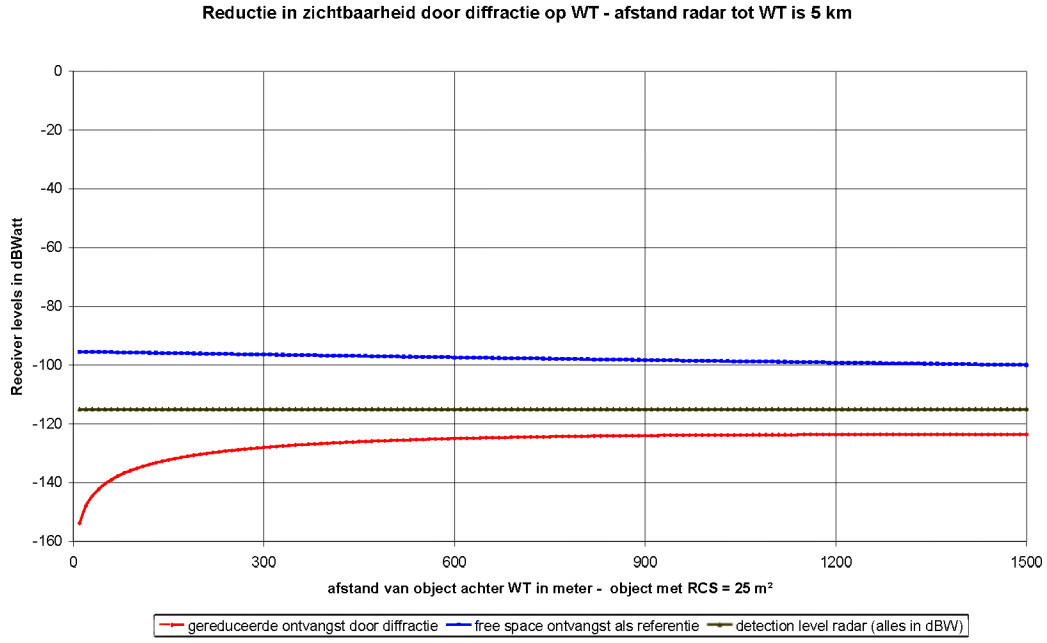
Een derde groep van grafieken behoort bij een schip dat zich in het windturbinepark bevindt, op een afstand van 350 m van een windturbine, en het buitengebied dient waar te nemen vooraleer zonder gevaar op botsing buiten te varen. Schepen in het buitengebied tot op een afstand van meer dan 1500 m blijven daarbij zichtbaar.



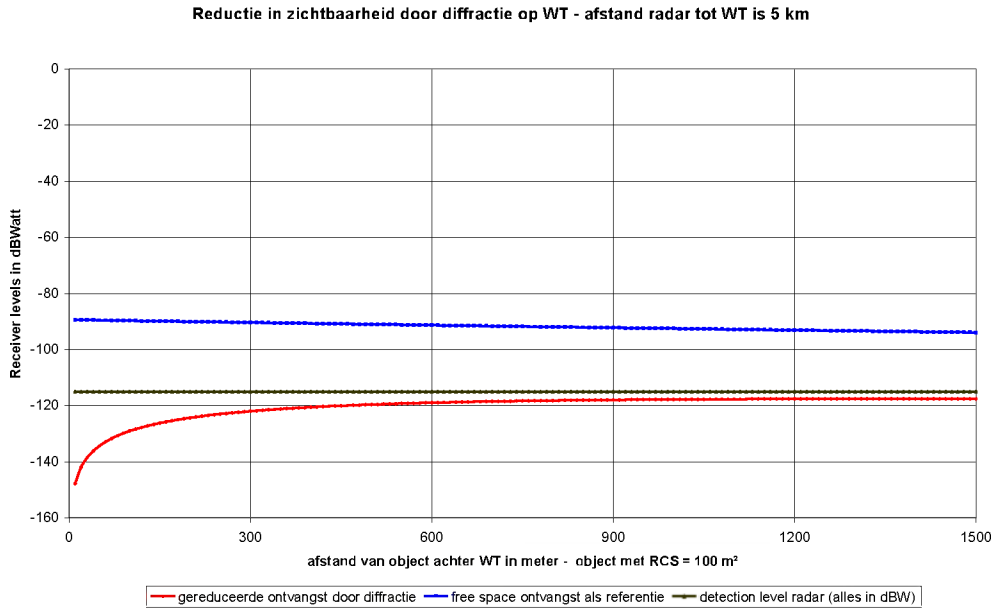
Figuur 6-11 Demping van het radarsignaal voor een schip op 1 km van een windpark. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



Figuur 6-12 Demping van het radarsignaal voor een schip op 1 km van een windpark. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²



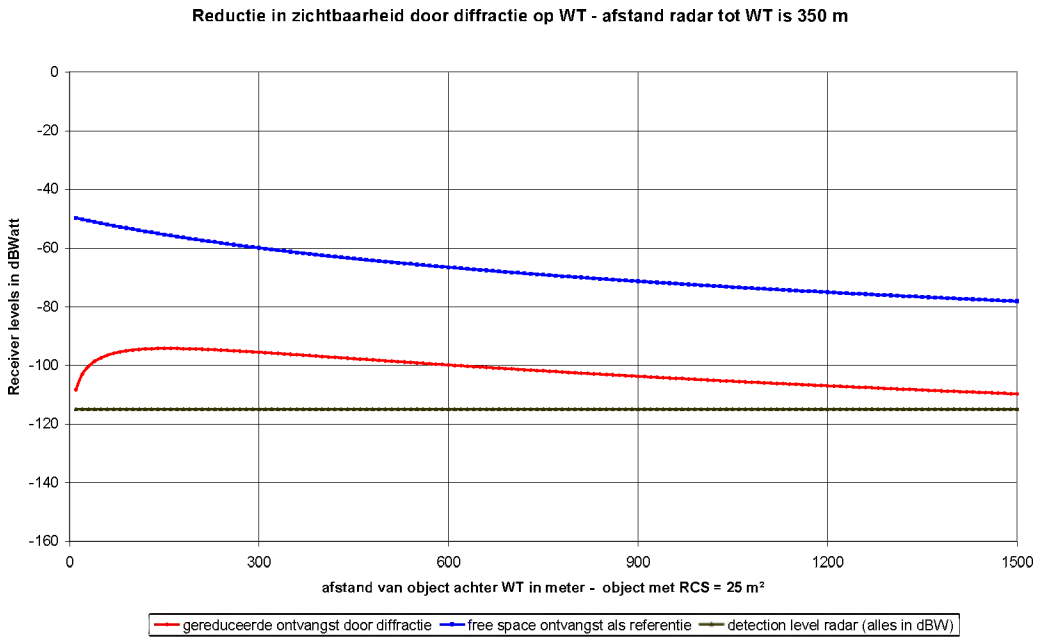
Figuur 6-13 Demping van het radarsignaal voor een schip op 5 km van een windpark. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



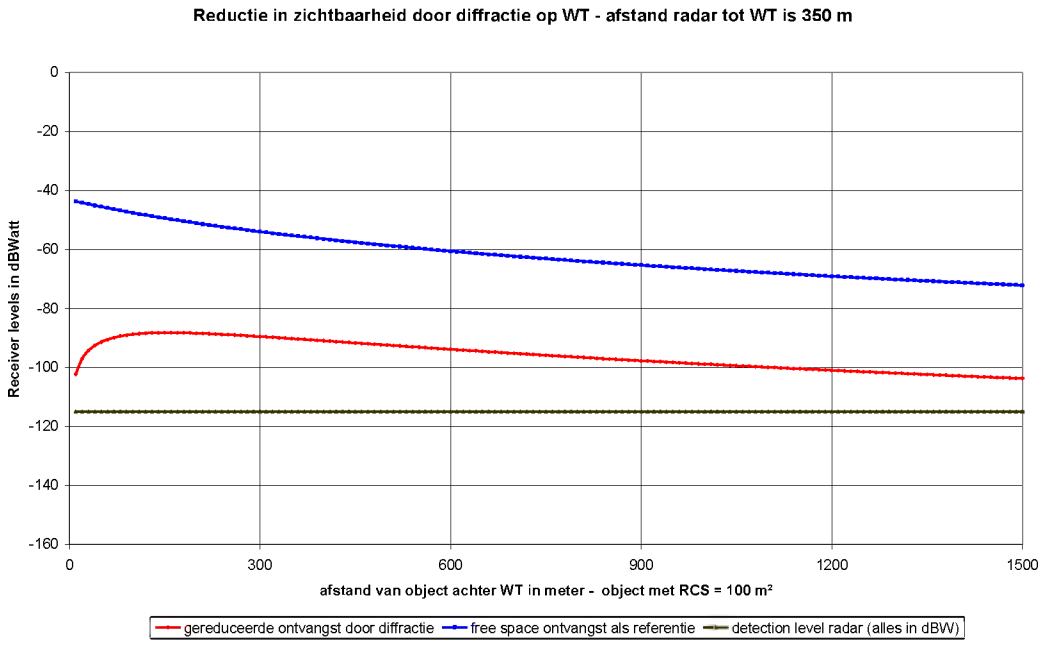
Figuur 6-14 Demping van het radarsignaal voor een schip op 5 km van een windpark. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²

Voor een afstand van 5 km tussen schip en windpark, zullen er dode zones ontstaan, precies in lijn achter een windturbine (zie grafieken van Figuur 6-13 en Figuur 6-14).

Voor schepen die niet op lijn achter een windturbine liggen, zal deze attenuatie zich niet voordoen indien er een voldoende vrije doorgang voor de radarsignalen is. Dit kan ingeschat worden aan de hand van de Fresnel ellips voorwaarden.



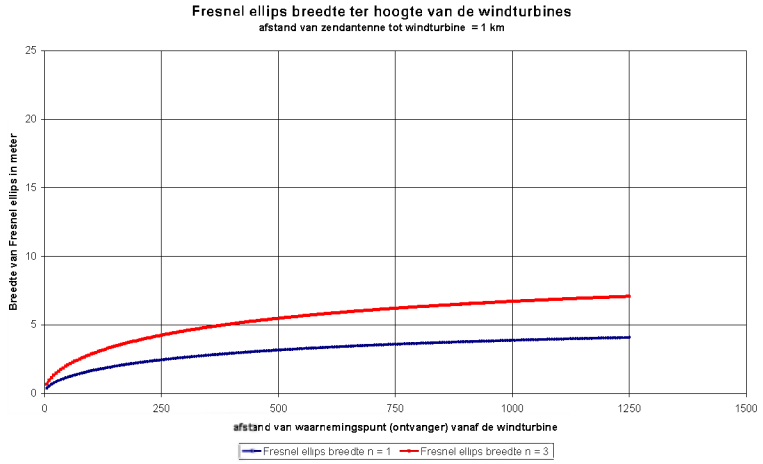
Figuur 6-15 Demping van het radarsignaal voor een schip op 350 m van een windturbine. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



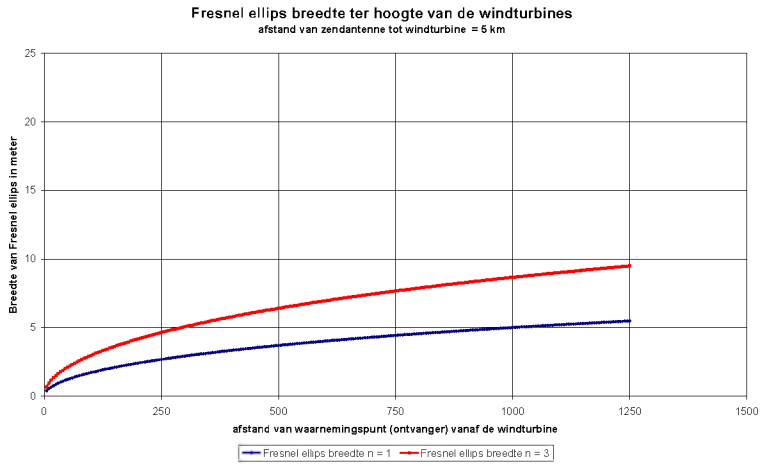
Figuur 6-16 Demping van het radarsignaal voor een schip op 350 m van een windturbine. Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²

6.4 VRIJE FRESNEL DOORGANG DOORHEEN EEN WINDTURBINEPARK

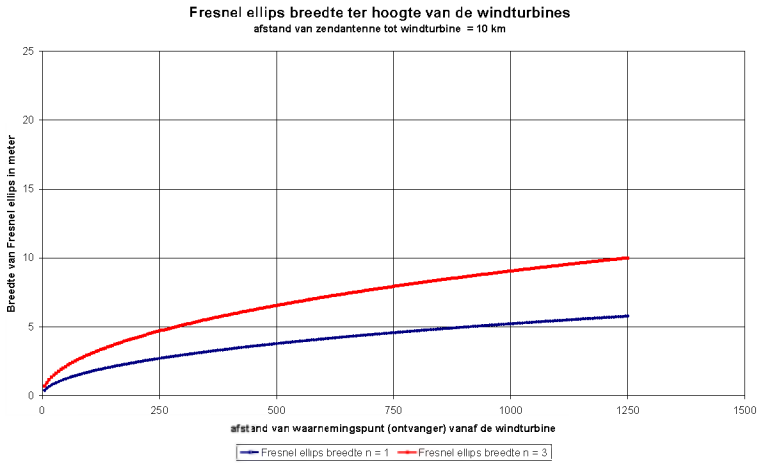
In tegenstelling tot de walradar op grotere afstand, kunnen zich een aantal situaties voordoen waarbij een voldoende vrije doorgang voor het radarsignaal mogelijk is, en het windpark dus (gedeeltelijk) transparant blijft. Dit is duidelijk te zien voor een paar voorbeelden in Figuur 6-10. De Fresnel ellips voorwaarden worden in de volgende figuren weergegeven voor verschillende situaties en condities.



Figuur 6-17 Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 1 km afstand



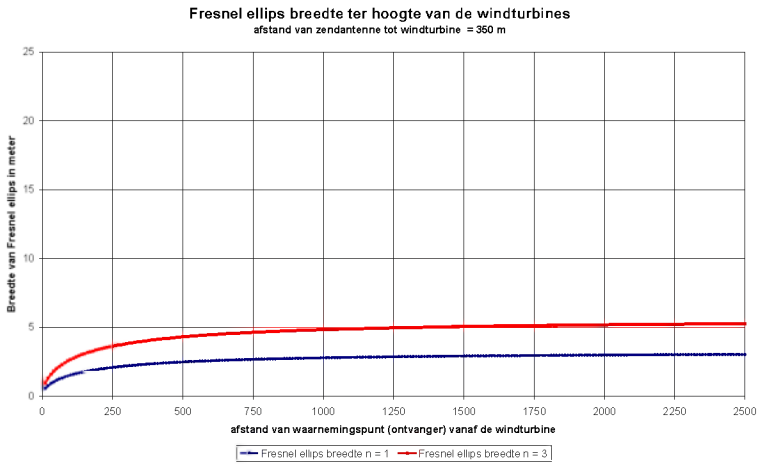
Figuur 6-18 Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 5 km afstand



Figuur 6-19 Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 10 km afstand

Uit bovenstaande grafieken blijkt dat er een open ruimte voor de radarsignalen is bij afstanden tussen de windturbines van ongeveer 15 m (voor n=1), en dit voor schepen op kortere afstand tot een windpark. Dit houdt dus in dat schepen in de nabijheid van de windparken op een voldoende manier de eventuele trafiek binnen het windpark kunnen waarnemen en opvolgen, en dus ook bij het binnenvaren ervan het botsingsrisico kunnen elimineren.

Voor schepen die in het windpark circuleren, is het niet alleen belangrijk om het buitengebied te kunnen waarnemen, maar ook andere trafiek binnen het windpark. Uit § 6.3 blijkt reeds dat er wel een shadowing optreedt in lijn met een windturbine, maar niet direct een dode zone ontstaat. Figuur 6-20 toont de Fresnel ellips voorwaarde tussen windturbines van een windpark, waaruit dus ook voldoende transparantie blijkt.

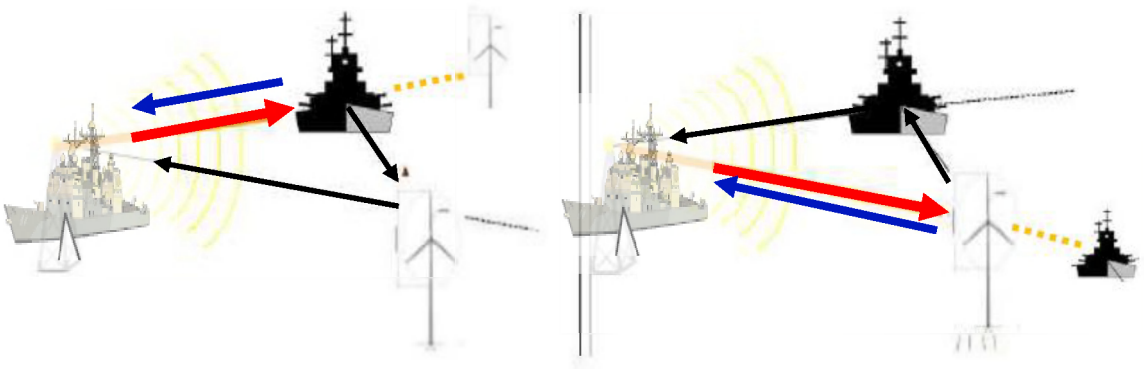


Figuur 6-20 Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 350 m afstand

Bovenstaande analyses worden door een aantal praktijktesten bevestigd, zoals reeds in Figuur 6-4, Figuur 6-5, Figuur 6-6 en Figuur 6-7 werd aangegeven.

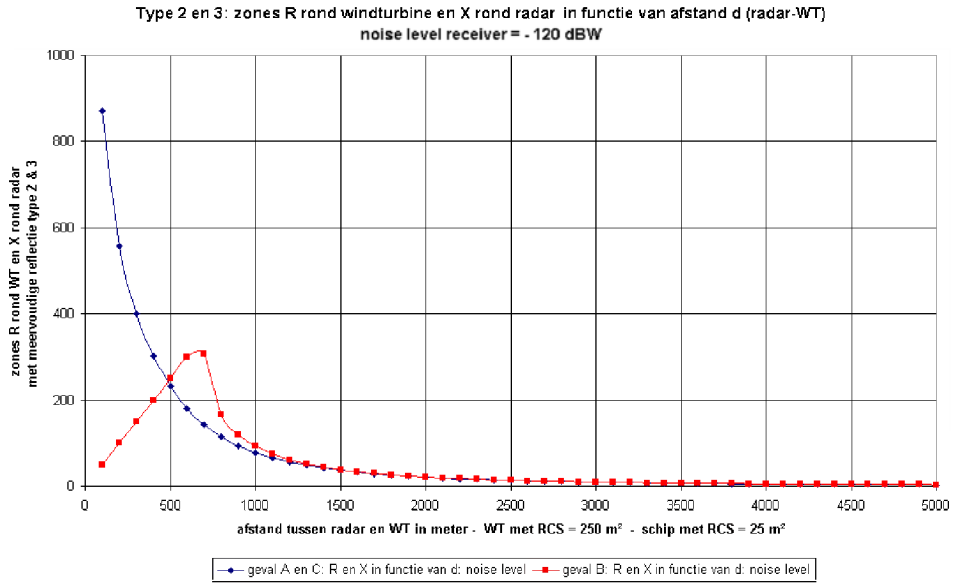
6.5 MEERVOUDIGE REFLECTIES EN VALSE ECHO'S

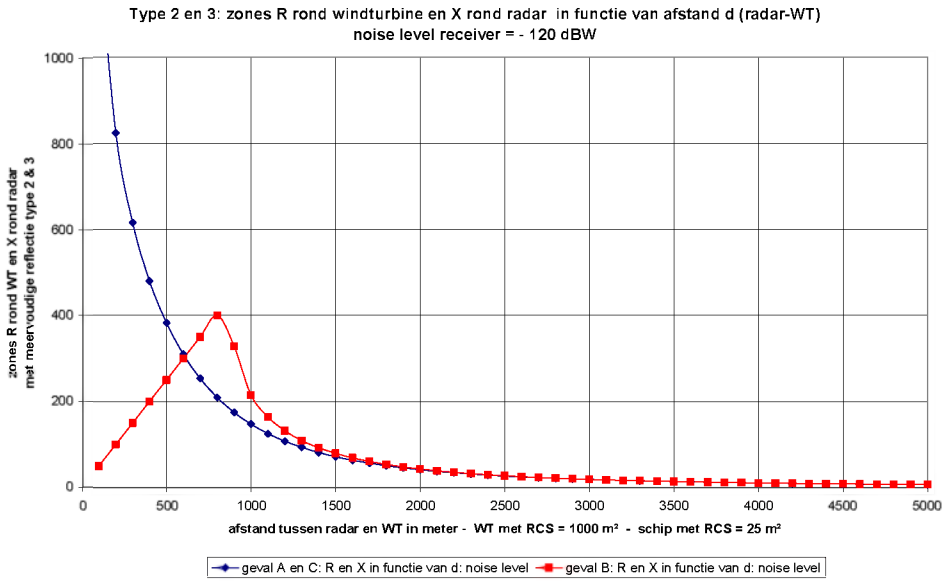
Meervoudige reflecties, en de bijhorende valse echo's komen voor door een rondgaande reflectie, die op een later tijdstip een tweede reflectie genereert en dus een vals echobeeld zal geven. Uit vorige studies en analyses (zie ook studies en aanbevelingen voor ATC van Eurocontrol), zijn maar twee types van meervoudige reflecties belangrijk. Deze worden schematisch weergegeven in Figuur 6-21.



Figuur 6-21 Schematische weergave van het effect van meervoudige reflecties en valse echovorming

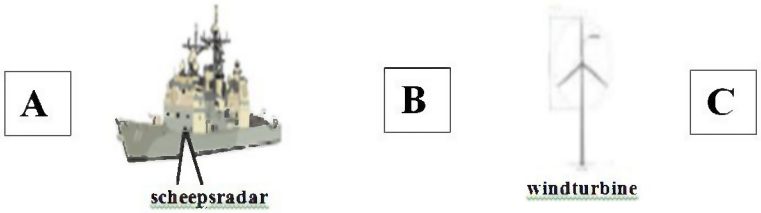
De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een windturbine op een afstand van 200 m tot 5 km van de radarinstallaties, voor een tweetal combinaties van verschillende RCS waarden (250 m² en 1000 m²) voor de windturbine en het betreffende (tweede) schip of object (RCS 25 m² en 100 m²).





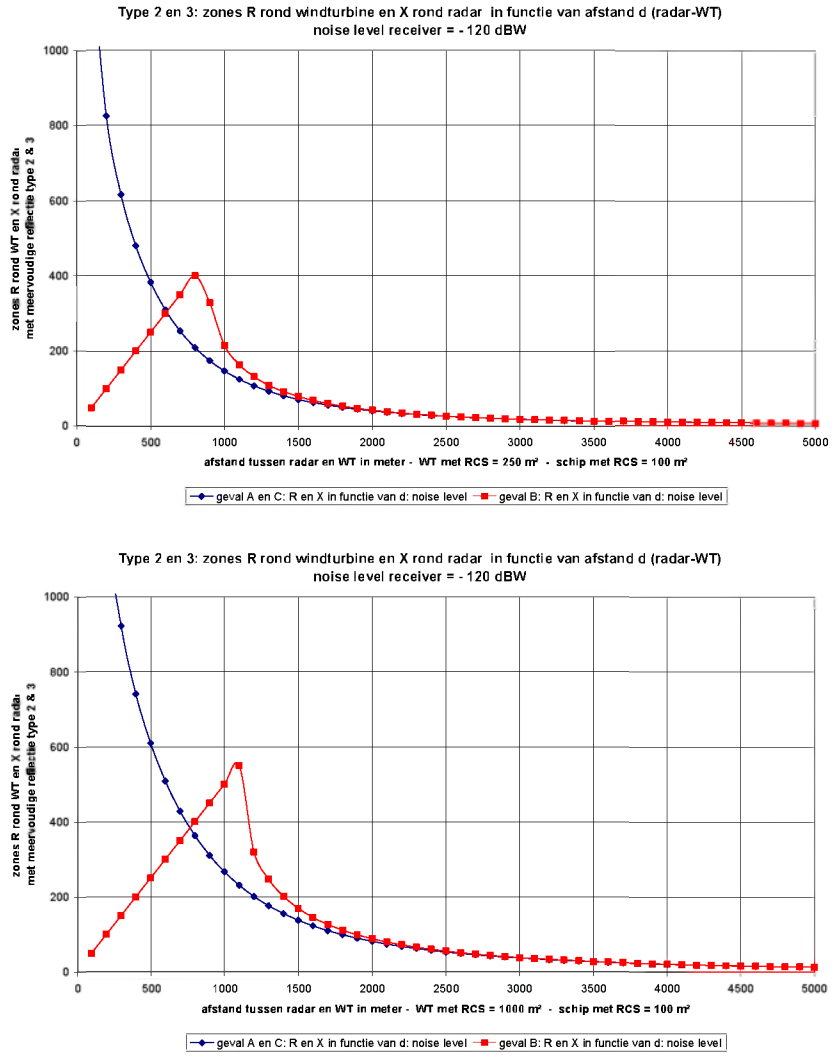
Figuur 6-22 Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 25 m² en twee verschuillende RCS waarden voor de windturbine

De bovenstaande figuren geven een zone met straal R aan rond de betreffende windturbine en een straal X rond de betreffende radarantenne (zie Figuur 6-26), voor de gevallen A, B en C. Deze drie situaties worden in de volgende Figuur 6-23 schematisch weergegeven.



Figuur 6-23 Schematische voorstelling van de positie van een derde object dat aanleiding kan geven tot meervoudige reflecties (zie Figuur 6-21) voor zones A, B en C.

De blauwe lijnen geven de stralen van de zones voor de gevallen A en C, de rode lijn geeft telkens de zone aan voor het geval B.



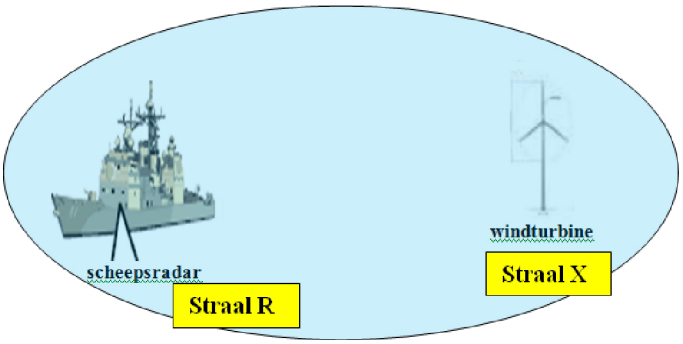
Figuur 6-24 Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 100 m² en twee verschuillende RCS waarden voor de windturbine

Uit bovenstaande analyses volgt dat er gemiddeld slechts meervoudige reflecties zullen optreden indien het waarnemingsschip zich binnen een afstand tot 1500 m van de windturbines bevindt, en een tweede object in de directe omgeving ervan.

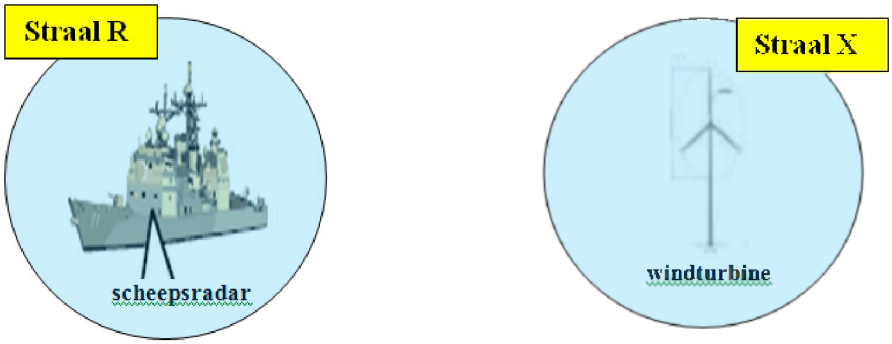
Er kunnen zich nu twee verschillende situaties voordoen:

- bij een kortere afstand tussen scheepsradar en windturbine, zullen de verschillende zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden één groter aaneengesloten gebied vormen.
- bij een grotere afstand tussen scheepsradar en windturbine, zullen de zones rond het schip en rond de windturbine telkens een afzonderlijk (en zelfs kleiner) gebied vormen.

De twee gevallen worden schematisch weergegeven in de volgende figuren Figuur 6-25 en Figuur 6-26.

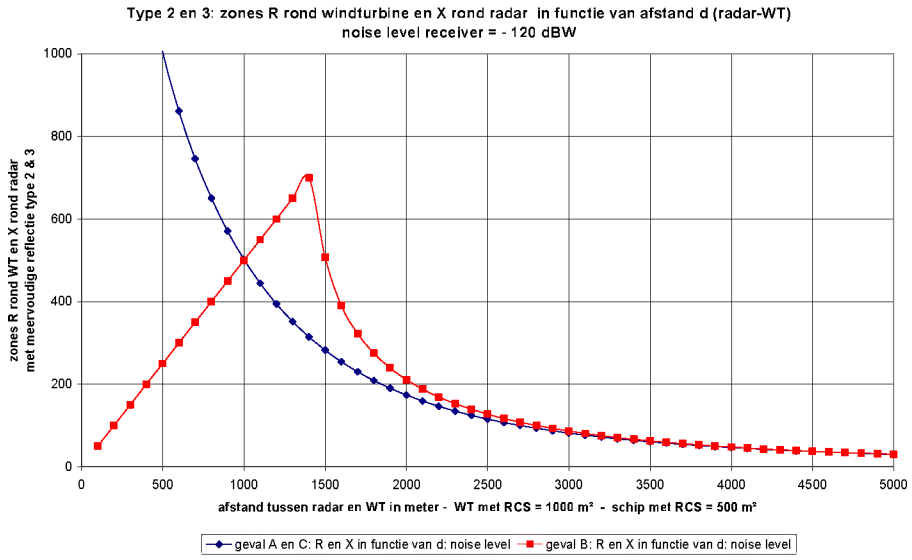


Figuur 6-25 Situatie waarbij alle zones een aaneengesloten gebied vormen



Figuur 6-26 Situatie waarbij alle zones afzonderlijke gebieden vormen

Tenslotte wordt nog een worst case situatie gegeven voor een windturbine met een RCS = 1000 m² en een schip met een RCS = 500 m².



Figuur 6-27 Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 500 m² en een windturbine met een RCS = 1000 m² (worst case).

Normaal zullen meervoudige reflecties slechts tijdelijk van aard zijn, gezien de voortbeweging van zowel het schip als van het tweede object. Dergelijke 'valse' echo's zullen de veiligheid echter niet direct in gevaar brengen, gezien het feit dat de eventuele valse beelden zullen gecreëerd worden in en onmiddellijk rond het windturbinepark, dan wel uit dezelfde richting als een ander schip. De valse echobeelden zullen bovendien nooit optreden tussen het schip en het eerste object dat moet waargenomen worden.

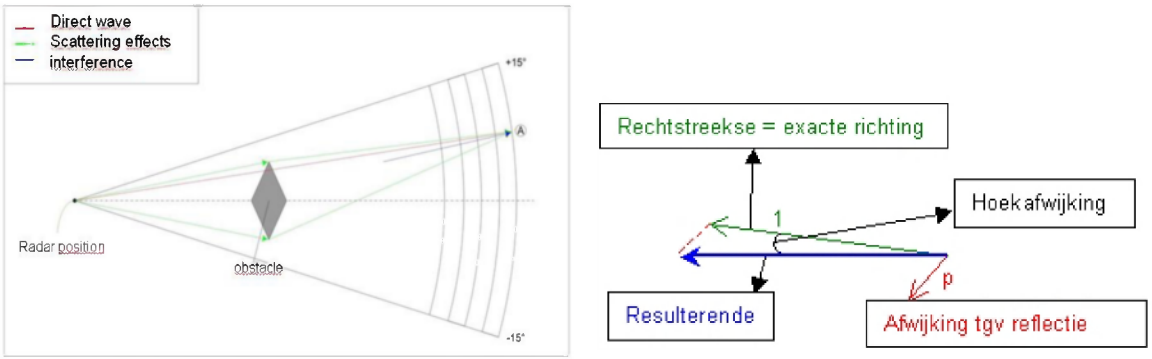
6.6 MOGELIJKE CLUTTER DOOR DRAAIENDE ROTOR

Een scheepsradar is normaal niet voorzien van clutter eliminerende algoritmes en signaalverwerking voor de specifieke waarnemingscondities van draaiende rotoren.

6.7 HOEKAFWIJKING DOOR MULTIPATH PROPAGATIE EN DIFFRACTIE

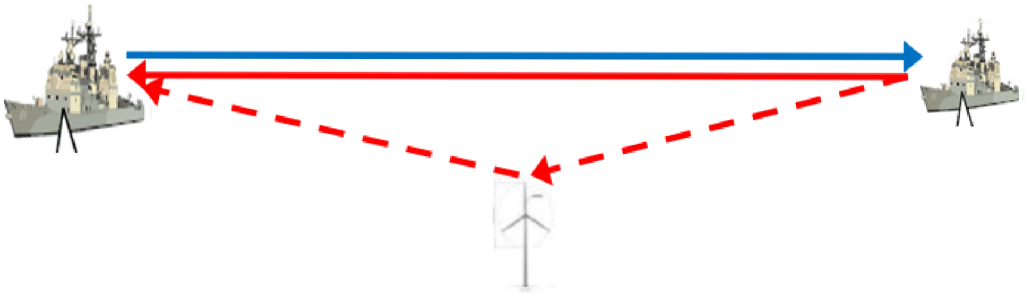
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Bij diffractie ontstaan twee signaalwegen, die zich weer kunnen samenstellen tot één resulterend signaal. Deze resultante zal echter een andere richting en een andere looptijd (fasehoek) hebben dan het oorspronkelijke signaal en kan dus aanleiding geven tot een foutieve detectie van range en azimuth.

Dit wordt schematisch aangegeven in Figuur 6-28.



Figuur 6-28 Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effect door diffractie

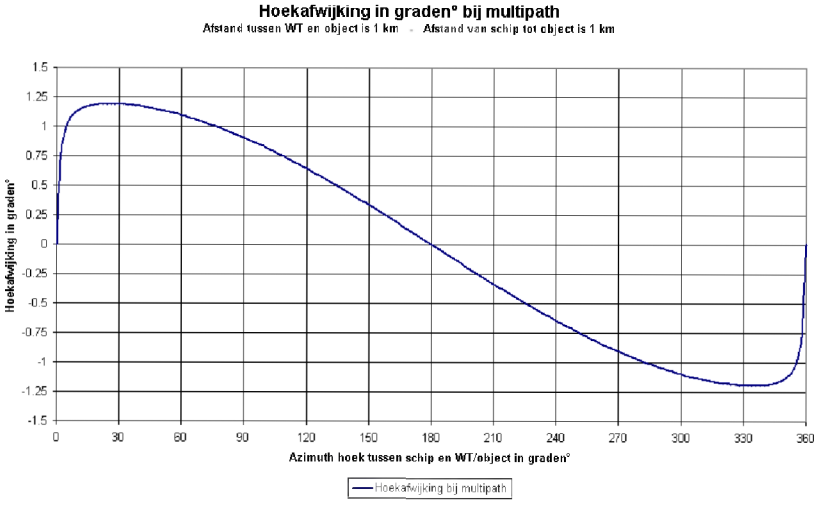
Een tweede vorm van multipath propagatie komt voor door reflectie van een gediffracteerde radarbundel op een windturbine voor verschillende combinaties van afstand tussen windparken en voor verschillende liggingen van de respectievelijke schepen. Dit mechanisme wordt in de onderstaande Figuur 6-29 geschetst.



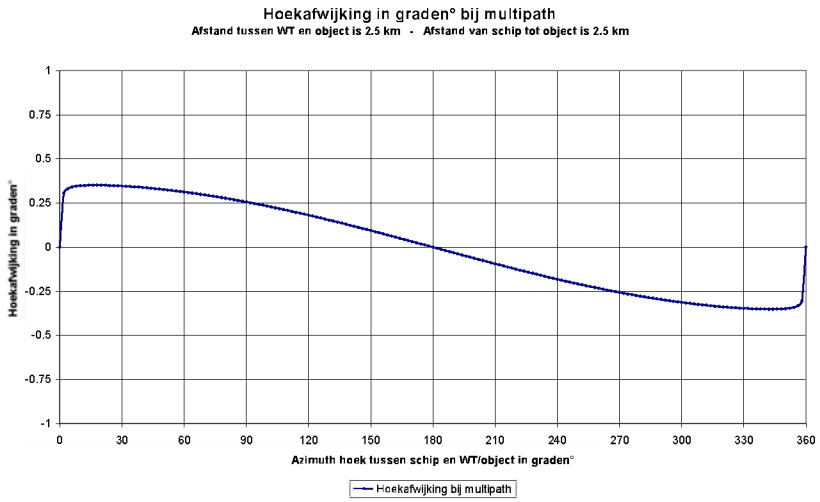
Figuur 6-29 Multipath propagatie schip/schip door reflectie op een tweede object

In de volgende grafieken wordt de hoekafwijking gegeven voor diverse combinaties van afstanden tussen het waarnemingsschip (scheepsradar) en het waar te nemen object, in functie van de hoeken tussen de verschillende richtingen.

Bij grotere afstanden van de scheepsradar tot de betreffende objecten wordt de resulterende hoekafwijking beperkt tot ongeveer 1° bij een afstand van 1 km en in de grootte orde van 0.25° en minder bij afstanden van 2,5 km en meer. Deze fouten zijn voor dit type waarnemingen verwaarloosbaar. Deze valt inderdaad binnen de horizontale resolutie van de radarbundel (2° bij – 3 dB). De berekende hoekafwijkingen worden gegeven in de grafieken in Figuur 6-30 en Figuur 6-31.

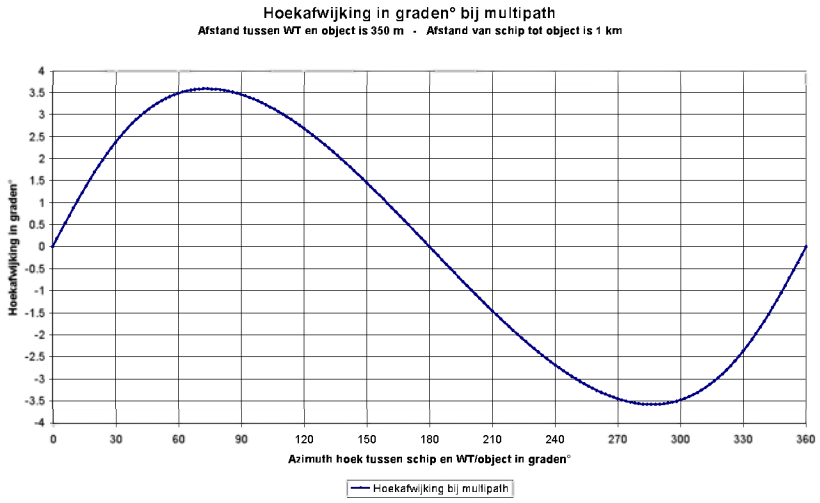


Figuur 6-30 Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 1 km

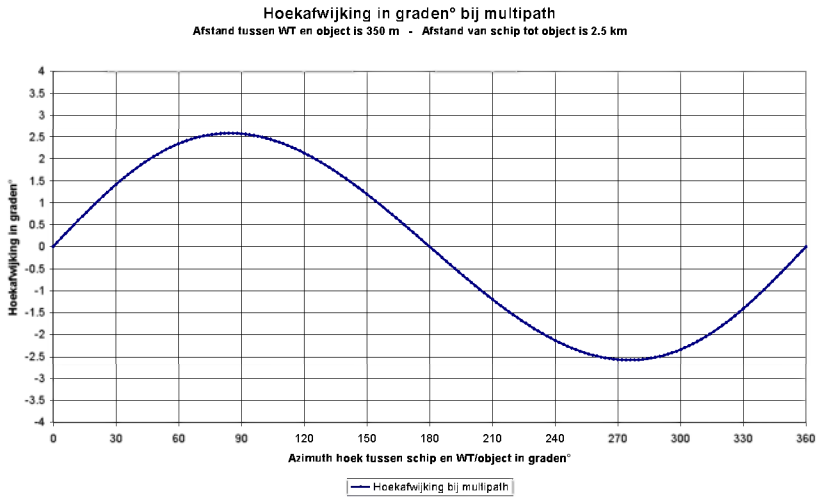


Figuur 6-31 Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 2,5 km

In de volgende grafieken wordt de hoekafwijking gegeven voor waarnemingsschepen die zich op respectievelijk 1 km en 2,5 km van het windturbinepark bevinden, en een schip dat zich slechts op een afstand van 350 m van de windturbine bevindt. Dit is dus het geval voor schepen die zich in het windturbinepark bevinden. In dergelijke gevallen wordt de hoekafwijking dus veel groter en kan gemakkelijk oplopen tot enkele graden.



Figuur 6-32 Hoekafwijking door multipath propagatie bij een afstand van 350 m voor de scheepsradar op 1 km

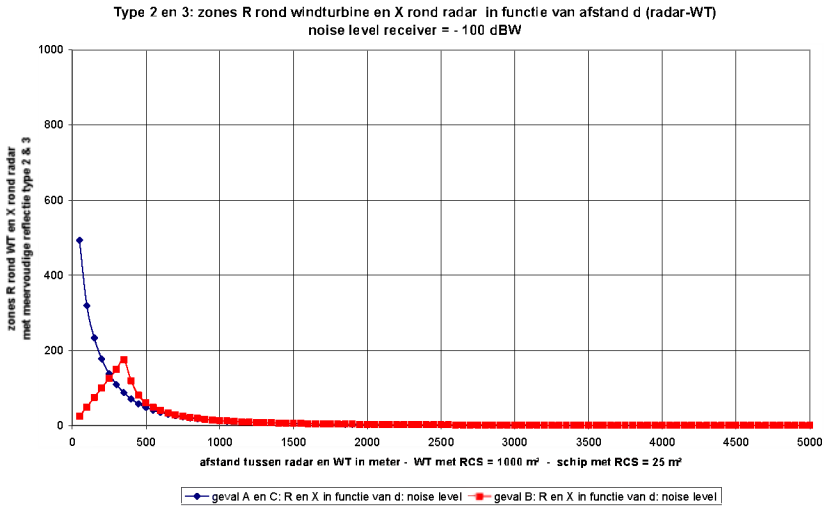


Figuur 6-33 Hoekafwijking door multipath propagatie bij een afstand van 350 m voor de scheepsradar op 2,5 km

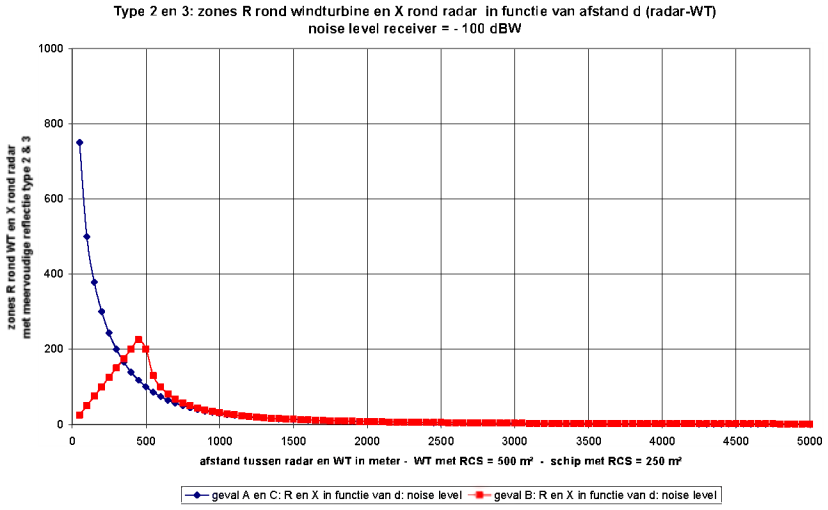
6.8 SPECIFIEKE PRAKTIJKSITUATIES BETREFFENDE DE SCHEEPSRADAR

In de dagelijkse praktijk doen zich meermaals situaties voor waarbij meervoudige reflecties optreden bij de waarnemingen van de scheepsradar. Dit komt enerzijds door de operationele (beperkte) montagemogelijkheden van de radarantenne op het schip, waarbij op korte afstand van de antenne meerdere reflecterende voorwerpen kunnen voorkomen. Anderzijds kunnen op relatief korte afstand andere objecten voorkomen, in casu andere schepen. De radaroperatoren hebben dus met het optreden van meervoudige reflecties en valse echo's een ruimte ervaring, en kunnen deze dan ook plaatsen en correct operationeel interpreteren. Een van de technieken die hierbij ook toegepast wordt is om "ad hoc" de gevoeligheid van de ontvanger tijdelijk te verminderen, zodat valse echo's niet gedetecteerd worden en dus van het scherm verdwijnen.

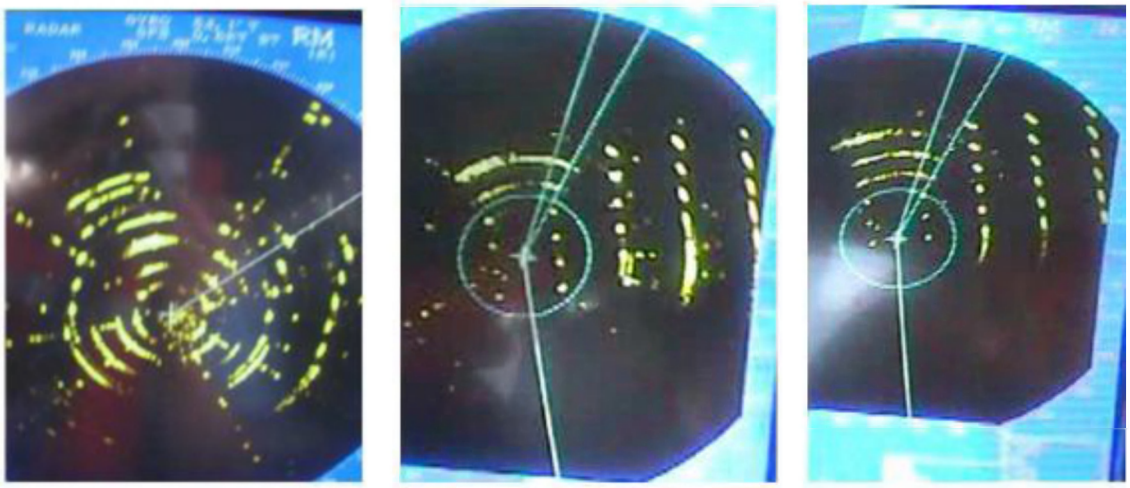
Het effect van een vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger wordt voor twee voorgaande voorbeelden in de volgende grafieken weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat de zones waarin meervoudige reflecties kunnen voorkomen quasi tot onbestaande worden herleid. Het nadeel is echter dat het bereik van de radar evenzeer wordt beperkt. Vandaar dat de techniek er inderdaad in bestaat om dit "ad hoc" volgens de optredende effecten dynamisch in te vullen.



Figuur 6-34 Voorbeeld van de vermindering van de zone voor valse echo's door vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger van de scheepsradar



Figuur 6-35 Voorbeeld van de vermindering van de zone voor valse echo's door vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger van de scheepsradar



Figuur 6-36 Radarbeelden bij vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger 100% gevoeligheid (links), 50% gevoeligheid (midden), 10% gevoeligheid (rechts) [ref. MCA studie van de North Hoyle wind farm][3]

Een uitgebreid rapport van de praktijktesten uitgevoerd door QinetiQ in opdracht van MCA (Marine and Coastguard Agency) rond het windpark “North Hoyle” is beschikbaar op het internet.

Het bevestigt de bovenstaande effecten qua meervoudige reflecties, shadowing, dode zones en de relatieve zichtbaarheid binnen een windpark van kleinere schepen en objecten, en de range en azimuth resolutie van de scheepsradar in de nabijheid van windparken:

[3] *Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, QinetiQ, November 2004*

7. IMPACTANALYSE EN CUMULATIEVE EFFECTEN VAN DE VHF MARIFONE SYSTEMEN.

In tegenstelling met de radarproblematiek, dient voor de VHF radiosystemen enkel rekening gehouden te worden met de volgende effecten:

- reikwijdte van het radiostation
- mogelijke shadowing en blinde zones, en vrije Fresnel doorgang
- effect van multipath transmissie

Het frequentiegebied van de marifone VHF communicatie ligt tussen 150 – 160 MHz. Voor de berekeningen wordt een gemiddelde van 150 MHz aangenomen, met dus een overeenkomstige golflengte van 2 m. Verdere typische kenmerken van de VHF systemen voor de stations aan wal kunnen als volgt geresumeerd worden:

Tabel 7-1 Typische gegevens van de VHF radiosystemen

Zendvermogen Tx	**Typisch 40 dBm ERP (10 W)**
Gain zendantenne Tx	8 dBi
Gevoeligheid ontvanger (ruis) Rx	- 113 dBm (- 143 dBW)
Gain ontvangsantenne	3 dBi

Verder dient ervan uitgegaan te worden dat de zend- en ontvangstapparatuur aan boord van de schepen niet allemaal dezelfde technische eigenschappen zullen hebben. Typisch mag gesteld worden dat de boordantenne een omnidirectionele antenne zal zijn met een gain tussen 0 dBi en – 12 dBi, afhankelijk van de effectieve lengte van de antenne. Bovendien mag verwacht worden dat de gevoeligheid van de ontvanger in de orde van – 120 dBW (- 90 dBm) zal liggen en wordt geen rekening gehouden met mogelijke kabelverliezen en dergelijke. In de verdere analyses worden bovenstaande waarden als referentie aangehouden.

7.1 REIKWIJDTE VAN HET VHF RADIOSTATION OF LOS (LINE OF SIGHT)

De VHF radiostations die in aanmerking dienen genomen te worden zijn deze in Oostende, Zeebrugge en Westkapelle. De betreffende gegevens voor de verschillende VHF kanalen voor zowel zendinstallatie (Tx) als ontvangstinstallatie (Rx) zijn terug te vinden in Tabel 2-5.

Voor de installaties aan boord mag aangenomen worden dat de omnidirectionele staafantennes in de top van de masten gemonteerd worden, wat dus een behoorlijke antennehoogte met zich kan meebrengen.



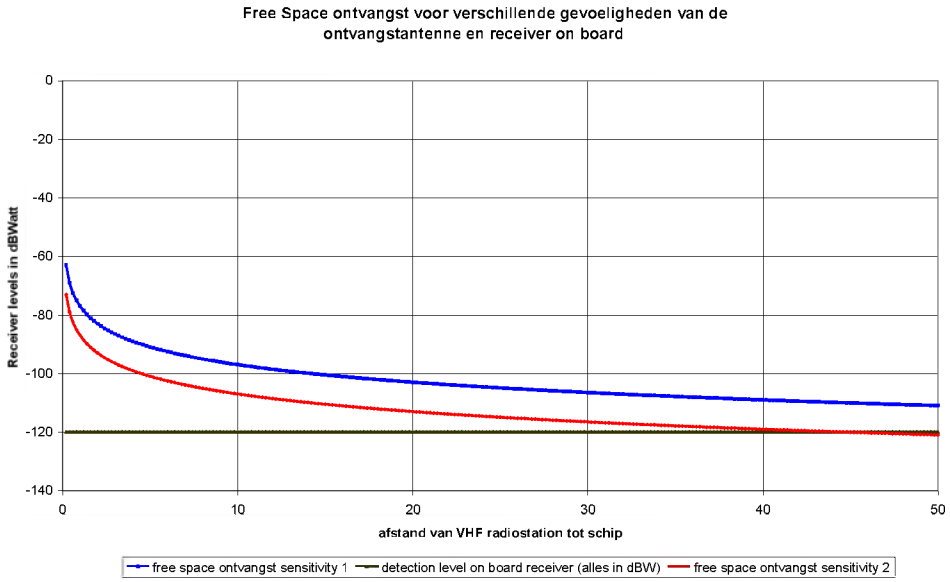
Figuur 7-1 Typische scheepsmast met radarantennes en communicatieantennes

Rekening houdend met de hoogte van de zendantennes aan wal, kan de volgende LoS reikwijdte ingeschat worden (van wal naar schip):

Tabel 7-2 LoS reikwijdte voor VHF communicatie in functie van antennehoogte aan boord

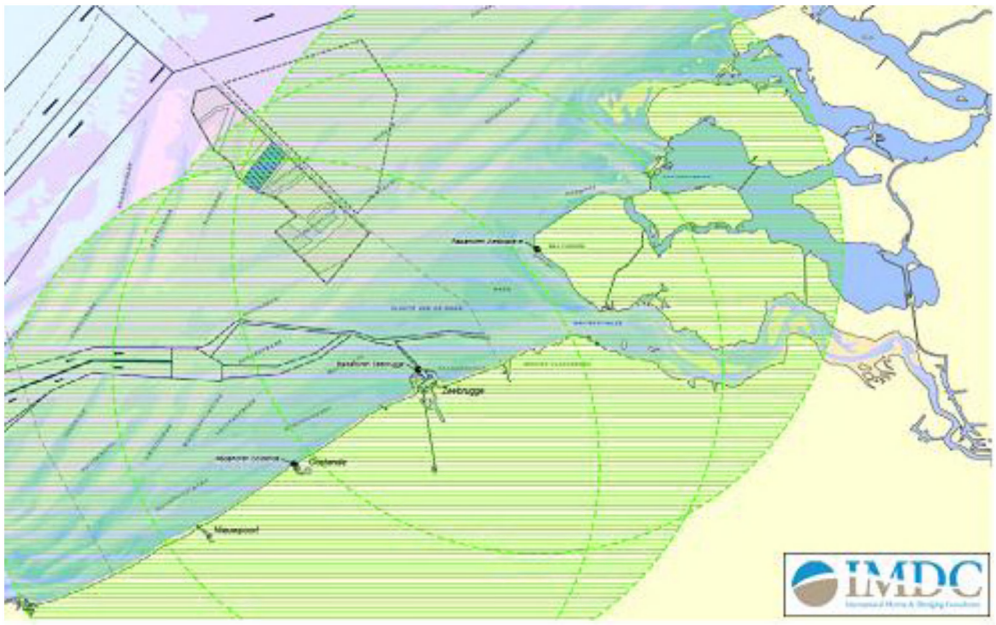
	Rx 10 m	Rx 20 m	Rx 25 m
Oostende Tx	45 km	50 km	55 km
Zeebrugge Tx	42 km	47 km	52 km
Westkapelle Tx	39 km	44 km	49 km

Rekening houdend met de typische zend- en ontvangstkarakteristieken voor de VHF installaties (aan wal en aan boord), kan het zendbereik ingeschat worden tussen 40 km tot zelfs 60 km, afhankelijk van de technische specificaties van de installaties aan boord.

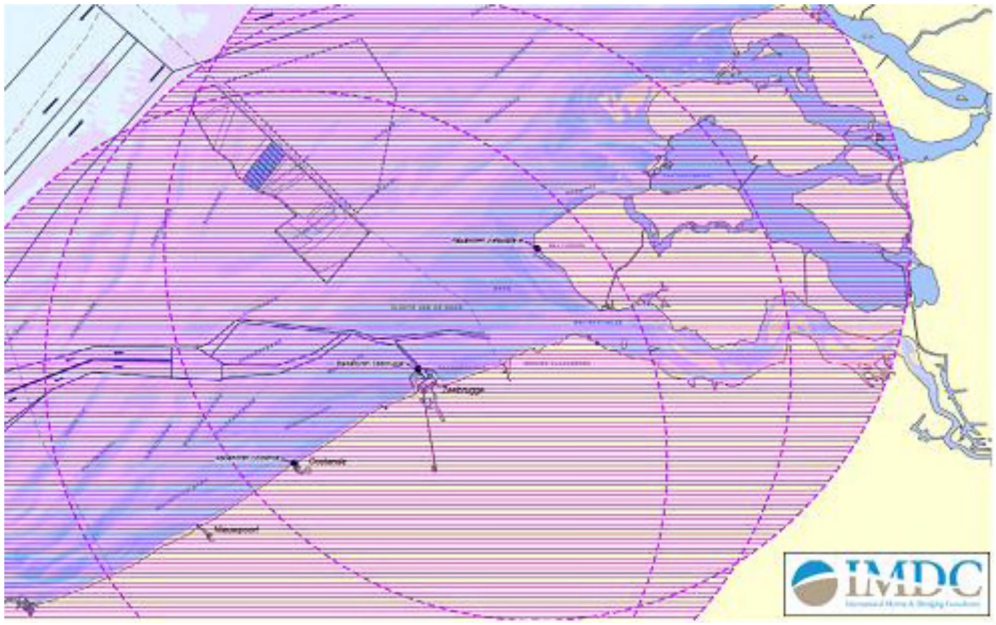


Figuur 7-2 Typisch zendbereik voor verschillende technische eigenschappen van de boordinstallatie

Voor het bereik van de VHF radiosystemen mag er dus van uit gegaan worden dat enkel rekening dient gehouden te worden met de LoS afstanden.



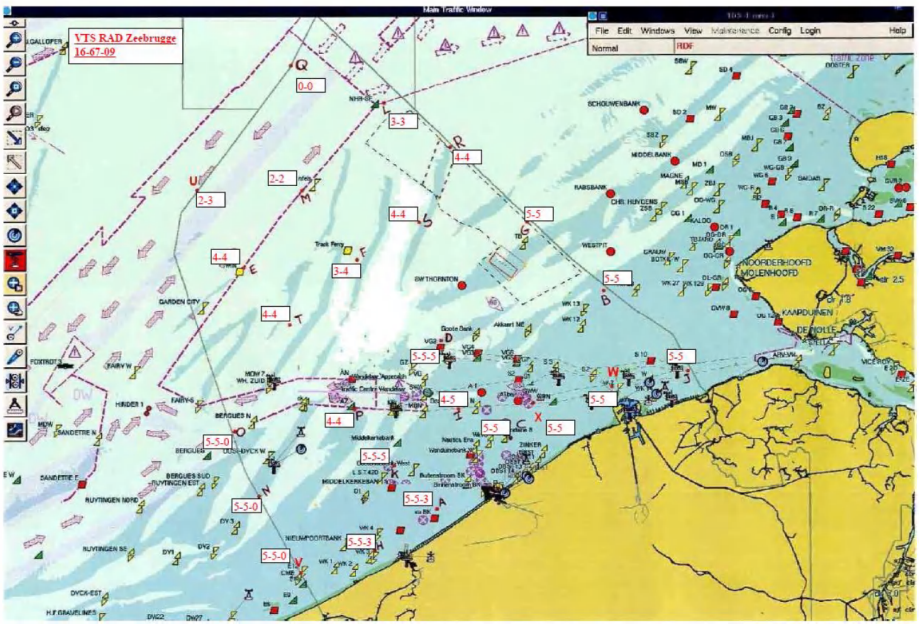
Figuur 7-3 Worst case reikwijdte (45 km) voor VHF communicatie van wal naar schip



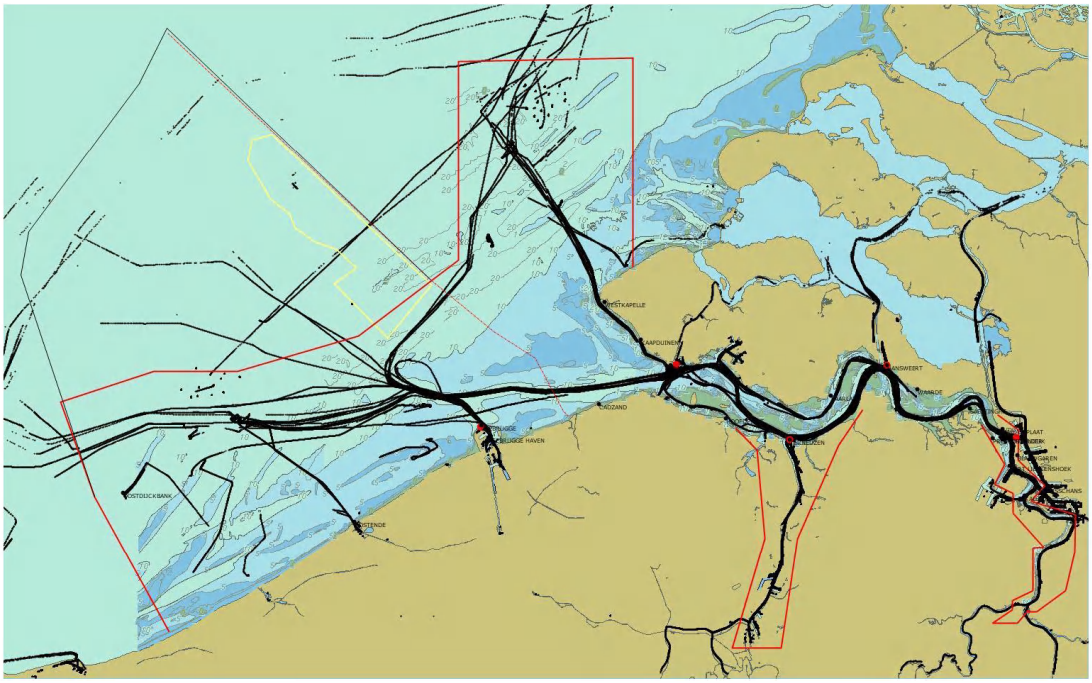
Figuur 7-4 Best case reikwijdte (55 km)voor VHF communicatie van wal naar schip

In een recent verleden werd door de dienst “Afdeling Scheepvaartbegeleiding/SRK” een testprogramma uitgevoerd waarbij van op de politieboot SNP09. De ontvangst werd gewaardeerd tussen 0 en 5, en dat voor de kanalen 16 (noodkanaal), 67 (SaR) en 09 (port control). Op die manier werd een map bekomen van de covering op zee voor deze drie VHF kanalen, en vergelijkbare kanalen. De bijhorende kaart (Figuur 7-5) wordt hieronder weergegeven en werd door de dienst

"Afdeling scheepvaartbegeleiding / SRK" ter beschikking gesteld voor dit rapport. De overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde reikwijdte voor de kanalen op zee (16 en 67) is treffend. Dit geldt ook voor een "logging" van de VHF communicatie (Figuur 7-6), waarbij het "nul" bereik op de 'verre' route duidelijk is.



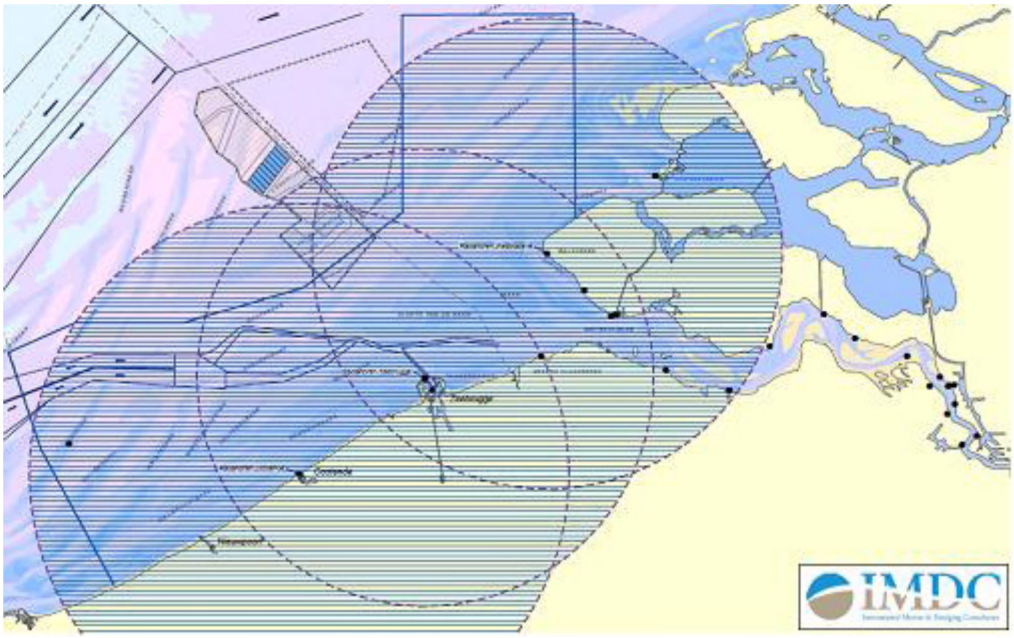
Figuur 7-5 Overzicht van de ontvangst (waardering 0-5) van de VHF kanalen 16-67-09 op zee



Figuur 7-6 Logging van de VHF communicatie, waaruit het "nul"bereik op de verre route duidelijk blijkt. De zwarte stippen/lijnen zijn een verzameling van liggingen van schepen tijdens een VHF radio contact[4]

[4] Courtesy van de dienst "afdeling scheepvaartbegeleiding"

Voor de communicatie van schip naar wal zal de reikwijdte kleiner zijn dan voor het radarbereik, omdat de ontvangstantennes in Oostende en Zeebrugge niet alleen op een andere locatie, maar op een lagere hoogte gemonteerd zijn dan de zendantennes. Typisch kan dit als volgt ingeschat worden, zelfs rekening houdend met de zeer gevoelige ontvangers aan wal:



Figuur 7-7 Typisch worst case LoS bereik voor de VHF communicatie van schip naar wal

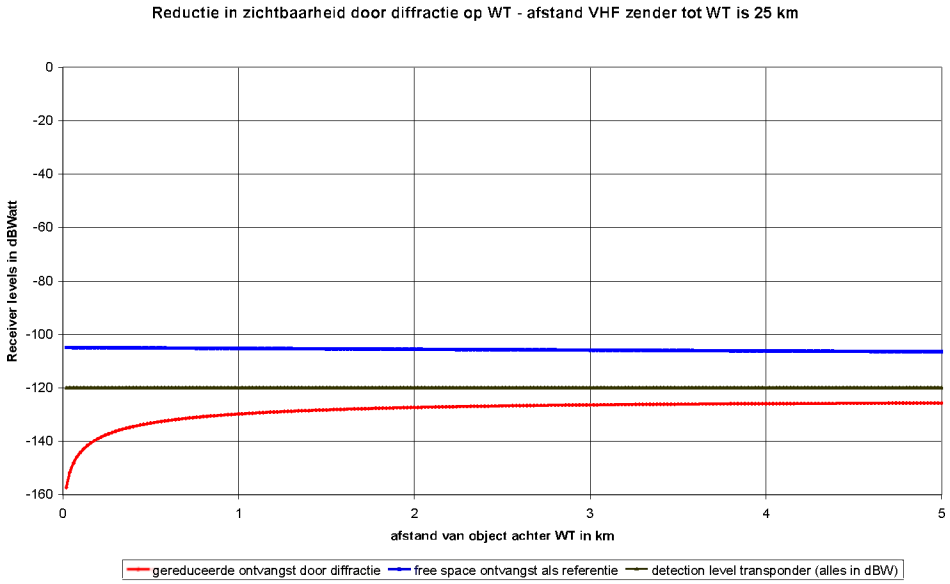
Voor het radioverkeer tussen schepen op zee kan een LoS van ongeveer 25 km ingeschat worden, gegeven de toch beperkte hoogtes van de antennemasten aan boord.

7.2 SHADOWING EN DODE ZONES, EN VRIJE FRESNEL DOORGANG

Voor de effecten van shadowing en dode zones kan een onderscheid gemaakt worden tussen de lange afstandscommunicatie (wal/schip) en communicatie die eerder op korte afstand gebeurt tussen schepen onderling.

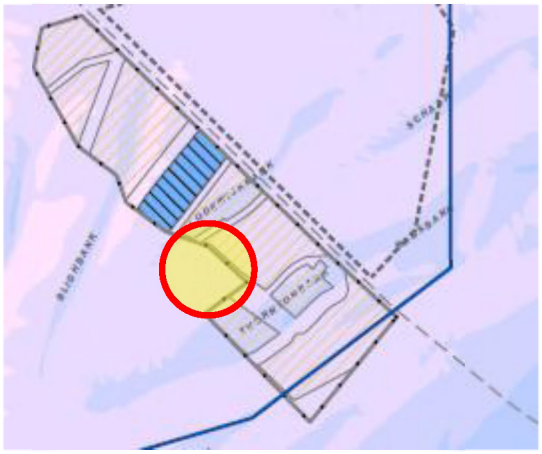
7.2.1 VHF communicatie tussen wal en schip (langere afstand)

Voor de VHF communicatie zowel aan de westzijde als de oostzijde van het concessiegebied zal er zich geen principiële verandering voordoen ten opzichte van de open zee. Voor wat de communicatie naar schepen die zich eventueel in een windpark bevinden betreft, zal er zich een diepe shadowing voordoen in lijn achter een windturbine. In wezen wordt dit zelfs een lijn van “blind” radiogebied. Voor windturbines op een afstand van 25 km uit de kust is dit gegeven in de grafiek van Figuur 7-8.



Figuur 7-8 Demping van VHF signalen achter een windturbine, op een afstand van 25 km uit de kust

In dit verband dient er expliciet opgemerkt te worden dat het project SeaStar zowel ten opzichte van het VHF kuststation in Oostende, zowel als in Zeebrugge, volledig achter de projecten Northwind, Rentel, C-Power en Norther verscholen ligt, en dus zeker niet meer bereikbaar zal zijn. Het volstaat hierbij te verwijzen naar Figuur 5-35, Figuur 5-37, Figuur 5-38 en Figuur 5-39 uit het radargedeelte 5.4 van dit rapport. Hierbij kan opgemerkt worden dat er een blinde vlek zal ontstaan precies in de luwte achter de meer landwaarts gelegen projecten, zoals aangegeven in de volgende Figuur 7-9.

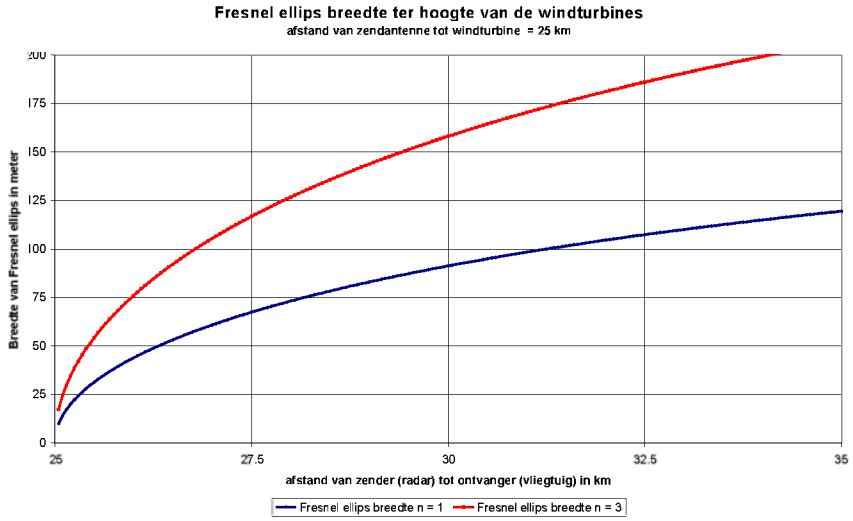


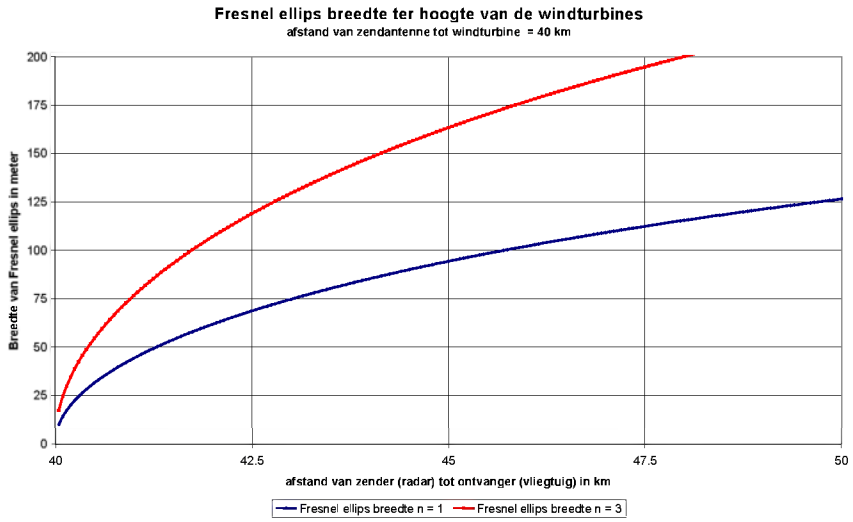
Figuur 7-9 Blind radio (en radargebied) achter de projecten C-Power en Norther

De voorwaarden voor een vrije radio propagatiepad worden in de grafieken van de figuren 86 en 87 gegeven, voor windparken op een afstand van 25 km en 40 km uit de kust gelegen. Als mag aangenomen worden dat de Fresnel protectievoorwaarde beperkt mag blijven tot n=1, dan is communicatie mogelijk indien er een vrije doorgang is tussen windturbines van 2xFresnel ellips of dus van 200 m tot 250 m.

Gegeven de afstanden tussen de windturbines, zal dus een gedeeltelijke (en gestoorde) communicatie mogelijk zijn tot in de windparken, op voorwaarde dat deze radiotechnisch “vrij

bereikbaar" zijn. Dit is door de aanwezigheid van de voorliggende projecten Northwind, Rentel, C-Power en Norther, voor het project SeaStar dus niet het geval (Figuur 7-9).





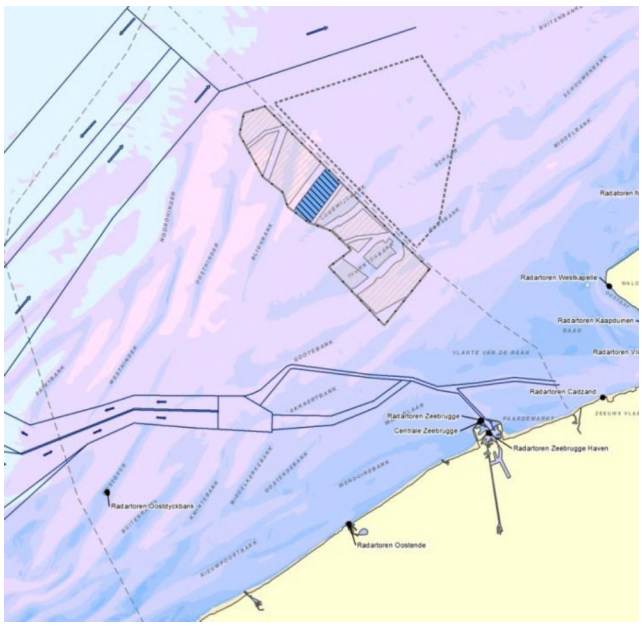
Figuur 7-10 Fresnel ellips voorwaarden voor objecten op een afstand van 25 km en 40 km

7.2.2 VHF communicatie tussen schip en schip (kortere afstand)

Voor de communicatie op kortere afstand tussen schip en schip zal er zich geen wijziging voordoen binnen de hoofdroutes van het scheepvaartverkeer. Deze liggen voldoende ver van de concessiegebieden, wat duidelijk blijkt in Figuur 7-11.

Ook voor de secundaire routes die mogelijk blijven, of verlegd dienen te worden om en rond de concessiegebieden zal er op zich geen probleem ontstaan, behalve (kortstondige) effecten van mogelijke multipath propagatie (zie verder § 7.3)

Blijft de vraag omtrent de communicatie van en naar schepen die zich net buiten een windpark en in de windparken zelf bevinden.



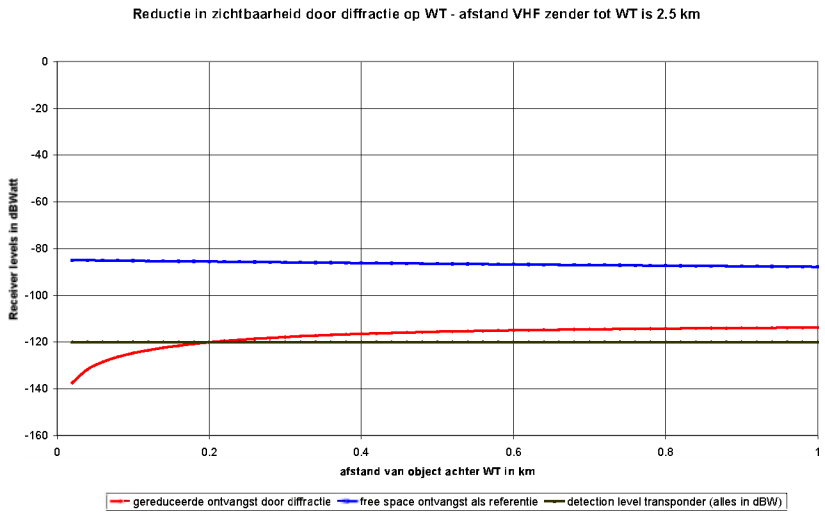
Figuur 7-11 Ligging van de hoofdroutes voor het scheepvaartverkeer tegenover de concessiegebieden WT's

Uit praktijktesten om en rond de North Hoyle, Kentish Fish en Nantucket blijkt dat er communicatie mogelijk is, maar dat er op korte afstanden achter windturbines wel gestoorde of zelfs radio-blinde zones kunnen ontstaan.

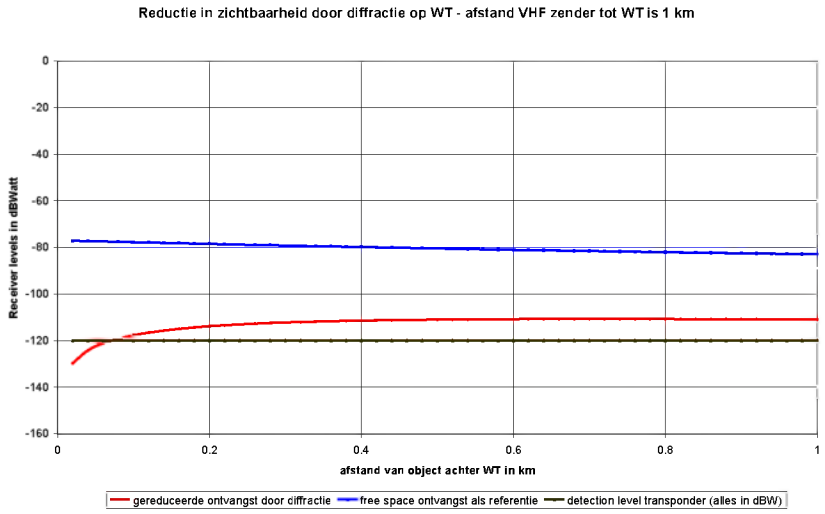
Dit wordt ook bevestigd uit de resultaten van de volgende analyses, waarbij werd nagegaan wat de demping van het radiosignaal is onder de volgende condities:

- een schip op een afstand van 2,5 km van het windpark, voor een ontvanger achter een
- windturbine (Figuur 7-12)
- een schip op een afstand van 1 km van het windpark, voor een ontvanger achter een
- windturbine (Figuur 7-13)
- een schip binnen het windpark, op een afstand van 350 m tot een windturbine, naar een schip buiten het windpark (Figuur 7-14)

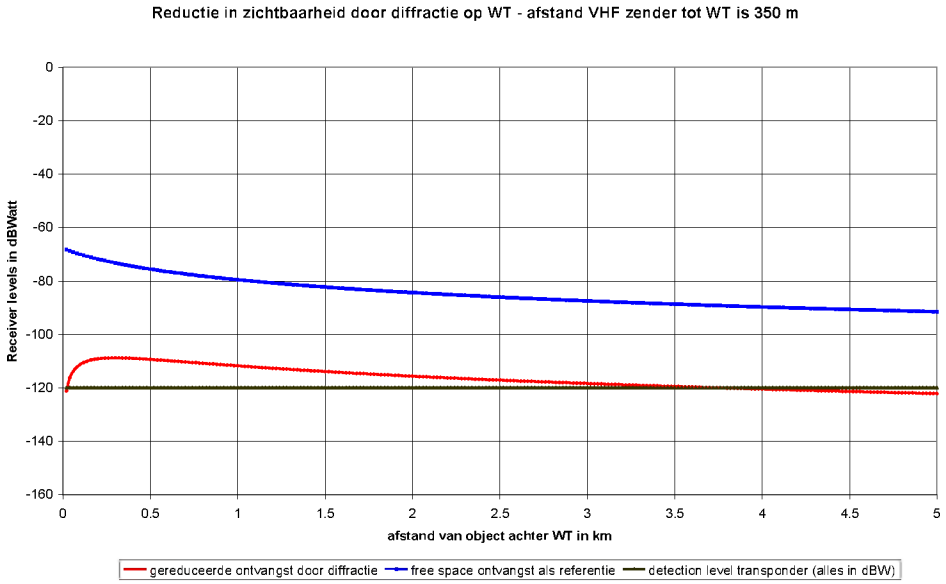
Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit gemiddelde waarden zijn, waarbij aangenomen werd dat de ontvanger aan boord van een schip een gevoeligheid heeft van – 90 dBm (of dus -120 dBW) en de zender een vermogen van 10 W (40 dBm).



Figuur 7-12 Demping van een windturbine op een afstand van 2,5 km van de VHF zender



Figuur 7-13 Demping van een windturbine op een afstand van 1 km van de VHF zender

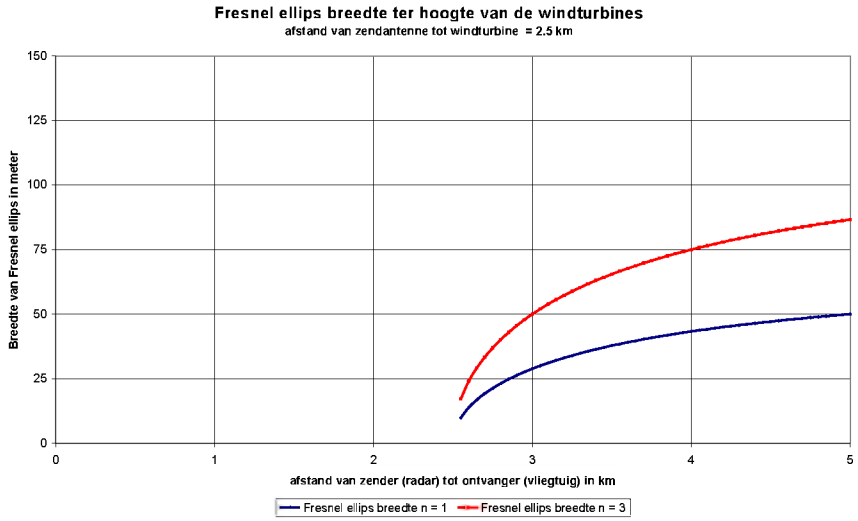


Figuur 7-14 Demping van een windturbine op een afstand van 350 m van de VHF zender

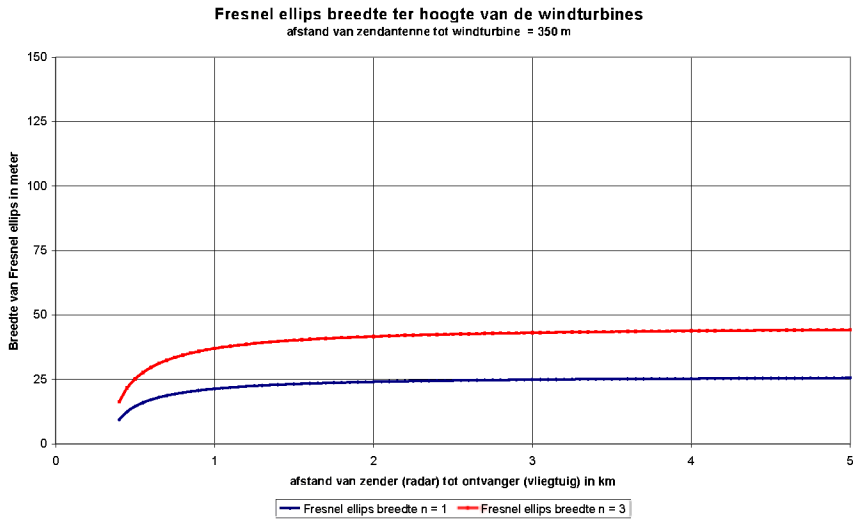
Communicatie zal uiteraard bijna ongestoord mogelijk blijven indien er een voldoende open propagatieweg aanwezig is, zoals door de Fresnel ellips voorwaarden aangegeven.

Voor een schip op een afstand van 2,5 km wordt die voorwaarde dat de afstand tussen twee objecten een propagatieweg moet open houden met een breedte van 100 m, indien een Fresnel protectie voor n=1 voldoende is. Voor een afstand van 350 m tot de windturbine wordt deze Fresnel voorwaarde een beschikbaar propagatiepad met een breedte van 50 m.

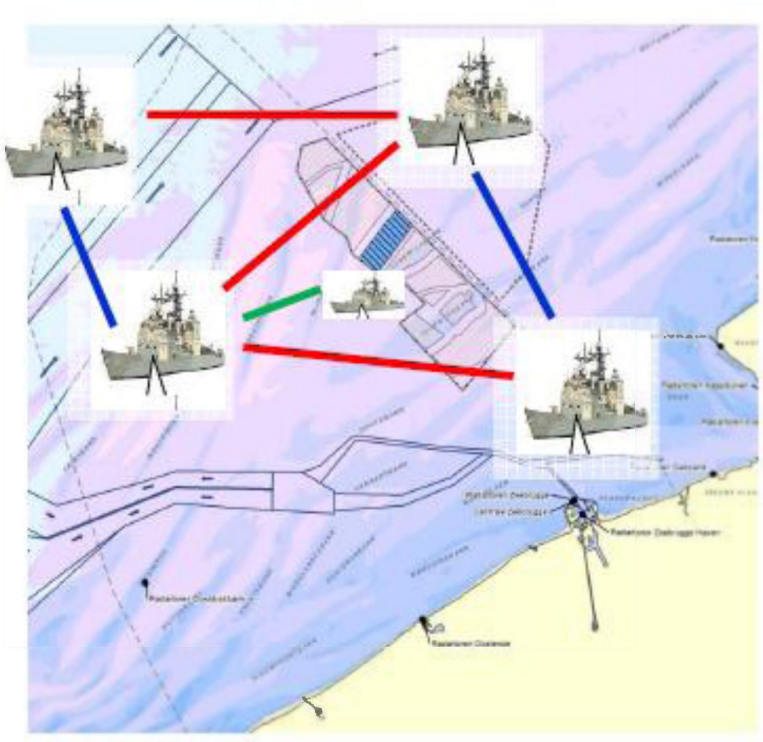
Concreet betekent dit dat nagenoeg alle communicatie in en rond een windpark zal mogelijk blijven, gegeven de windtechnische vereisten qua tussenafstanden tussen de windturbines onderling, in de optimale inplanting van de windturbines binnen het gebied. Toch dient er in de praktijk vanuit gegaan te worden dat propagatie doorheen één (of meerdere) windpark(en) moeilijk en zelfs onmogelijk zal zijn. Voorbeelden hiervan worden geschetst in Figuur 7-17, waarbij de blauwe communicatiepaden vrij zijn, mogelijk blijft (groen) en waarbij de rode gestoord zullen zijn (of zelfs onbestaande geworden).



Figuur 7-15 Fresnel ellips voorwaarden voor een VHF zender op 2,5 km van objecten



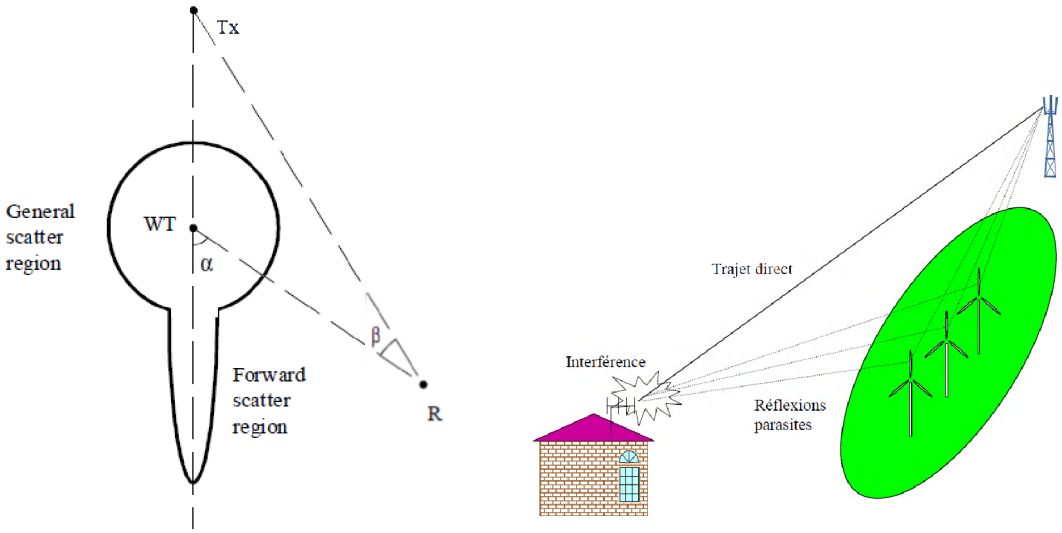
Figuur 7-16 Fresnel ellips voorwaarden voor een VHF zender op 350 m van objecten



Figuur 7-17 Voorbeelden van communicatie tussen schepen, doorheen windparken

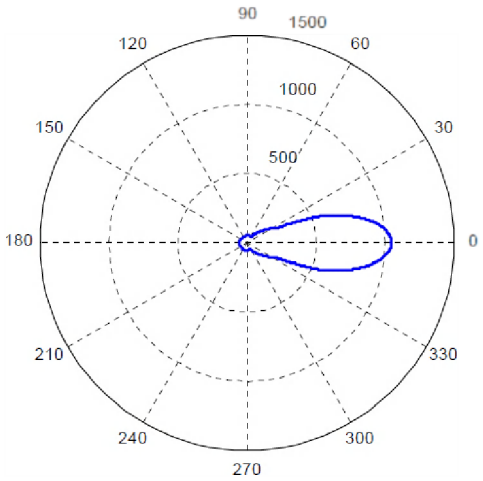
7.3 EFFECT VAN MULTIPATH TRANSMISSIE

Bij analoge communicatie systemen is het effect van multipath transmissie hoofdzakelijk het feit dat een tweede signaal met een zekere tijdsvertraging bij het direct signaal samenkomt en ook zo gedetecteerd worden. Het fenomeen kan gemakkelijk als volgt beschreven en gemodelleerd worden (Figuur 7-17).



Figuur 7-18 Principe schema van een multipath transmissie

Bij het directe radiosignaal tussen de zender Tx en de ontvanger R, voegt zich een tweede signaal, via reflectie op een windturbine. Dit tweede signaal zal een zekere demping hebben tegenover het directe signaal, en ook een zekere tijdsvertraging. Bij analoge televisie is dit een bekend verschijnsel, waar de visuele waarneming van het oog ook zeer gevoelig voor is. Voor spraakcommunicatie is dit veel minder het geval. Daarom werd door het ITU (International Telecommunication Union) een richtlijn gepubliceerd omtrent analoge televisie en de impact van multipath transmissie, namelijk ITU-R B.805 "*Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine*". Voor spraakcommunicatie bestaat er echter geen equivalente aanbeveling. Indien er geen obstructie in het directe transmissiepad aanwezig is, mag de zone waarbinnen een verstoring van de radio ontvangst mogelijk is, ingeschat worden zoals in Figuur 7-19 weergegeven. Of grosso modo mag men stellen dat er binnen een invalshoek van 30° een zone van verstoorde radio ontvangst kan aanwezig zijn tot op 1 km van de windturbines.



Figuur 7-19 Zone van mogelijk gestoorde radio-ontvangst, volgens de aanbeveling ITU-R B.805

8. IMPACTANALYSE OP HET AIS SYSTEEM (AUTOMATIC INFORMATION SYSTEM)

AIS is een systeem van automatische informatie vergaring, dat gebruik maakt van de 'normale' marifone VHF kanalen 87b en 88b (rond 162 MHz), echter met een digitale vorm van datatransmissie. De transmissiesnelheid van de gegevens is 9600 bps baudrate. In, eerste instantie is het AIS systeem dus een VHF communicatiesysteem, zodat alle fenomenen en effecten ervan ook hier blijven gelden. Het volstaat dus te verwijzen naar hoofdstuk §7 van dit rapport voor de impactanalyse van het globale gedrag van het AIS systeem als radio communicatie systeem.

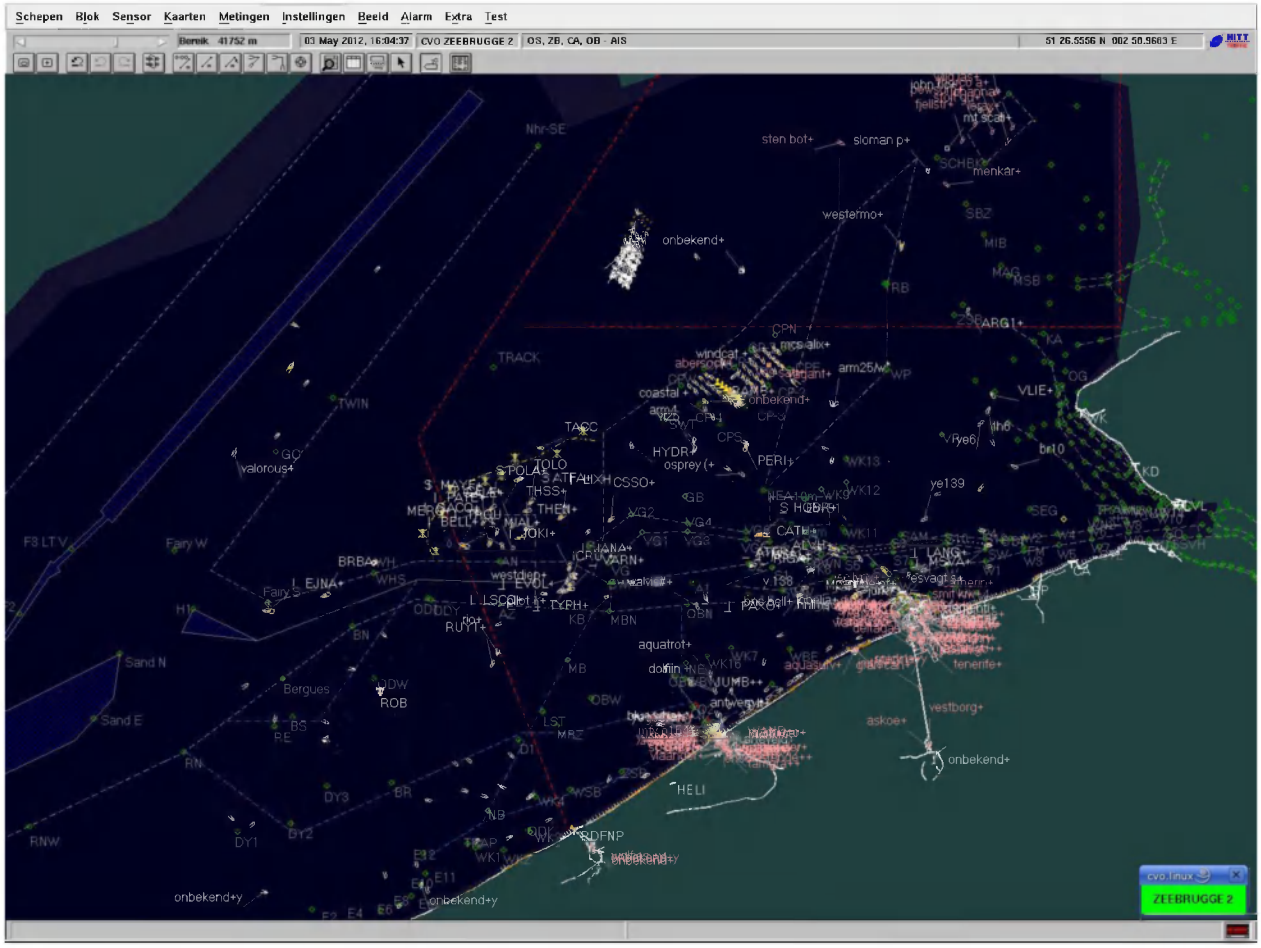
Het AIS systeem is echter een digitaal datatransmissie systeem, met een baudrate van 9600 bps. Een dergelijke bitrate laat een delayspread van het gemoduleerde signaal toe van 104,16 µsec, zonder dat een fout bitpatroon zou gegenereerd worden.

Zoals eerder bij de bespreking van de VHF communicatie aangehaald, kunnen reflecties een tweede transmissiepad creëren, zodat dezelfde informatie tweemaal ontvangen wordt. Indien het looptijdverschil tussen beide paden groter dan de toegelaten delay spread wordt, zal het systeem foutieve informatie genereren.

Een delay spread van 100 µsec zou een verschil in transmissieweg van 30 km toestaan.

Voor schepen in de nabijheid van een windturbinepark, en zelfs in het volledige bereik van de scheepvaartbegeleiding, zal een dergelijk verschil in lengte van het transmissiepad dus niet operationeel kunnen voorkomen.

Een screenshot van de radarwaarneming, met de AIS gegevens gekoppeld aan de radargegevens, toont inderdaad eenzelfde patroon als de VHF communicatie van Figuur 7-6.



Figuur 8-1 Screenshot van het gecombineerde radarscherm met AIS gegevens[5]

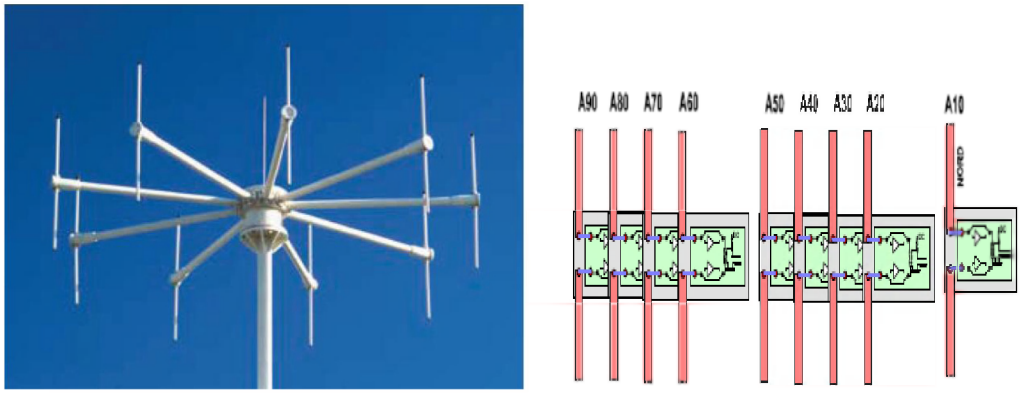
[5] Courtesy van de dienst "afdeling verkeersbegeleiding"

9. CUMULATIEVE EFFECTEN OP HET RDF SYSTEELM (RADIO DIRECTION FINDER)

Bij het RDF peilsysteem wordt een radiosignaal uit de marifone radioband (156.8 MHz) afkomstig van een schip, door het RDF station gecapteerd. Daartoe wordt gebruik gemaakt van een speciale (omnidirectionele) antenne, die via een gepaste signaalverwerking een richting kan peilen.

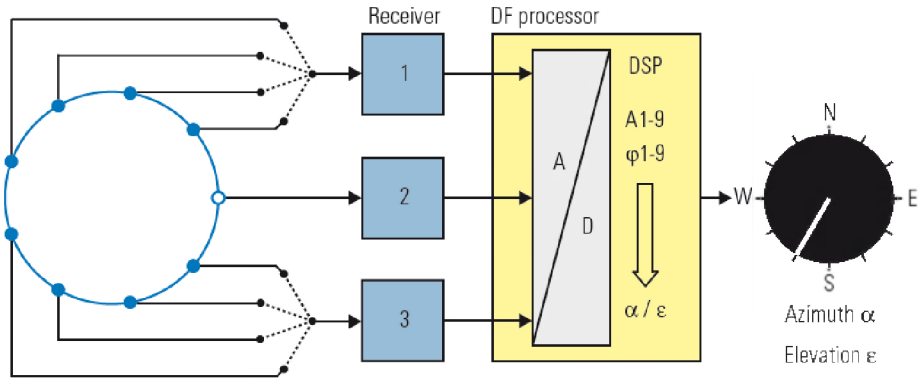
Met behulp van meerdere peilstations kan men uit het snijpunt van de verschillende peilrichtingen, de plaats van het schip bepalen.

De huidige installatie omvat een Rohde & Schwarz ontvanger DDF04E met een antenne type ADD050SR. Er zijn momenteel drie dergelijke RDF installaties operationeel: Oostende, Zeebrugge en Haamstede, waarbij deze laatste niet van belang is voor deze studie.



Figuur 9-1 Antenne ADD050SR van de RDF peilstations

Het systeem bestaat uit 2 groepen van 4 dipoolantennes, die snel worden gescand, en een negende dipoolantenne als referentie. Het principe bestaat erin dat de signalen van telkens twee diametraal tegenover elkaar gelegen antennes tegelijkertijd wordt gemeten. Uit de faseverschillen van de signalen tussen de verschillende combinaties en de referentie antenne wordt door de verdere signaalverwerking (en een bijhorende database) de richting van het invallende signaal bepaald (correlatieve interfero techniek). Deze techniek is fundamenteel een vectoriële analyse van de ontvangen signalen en maakt geen gebruik van mogelijke Doppler technieken. De nauwkeurigheid is gespecificeerd op beter dan 1°.

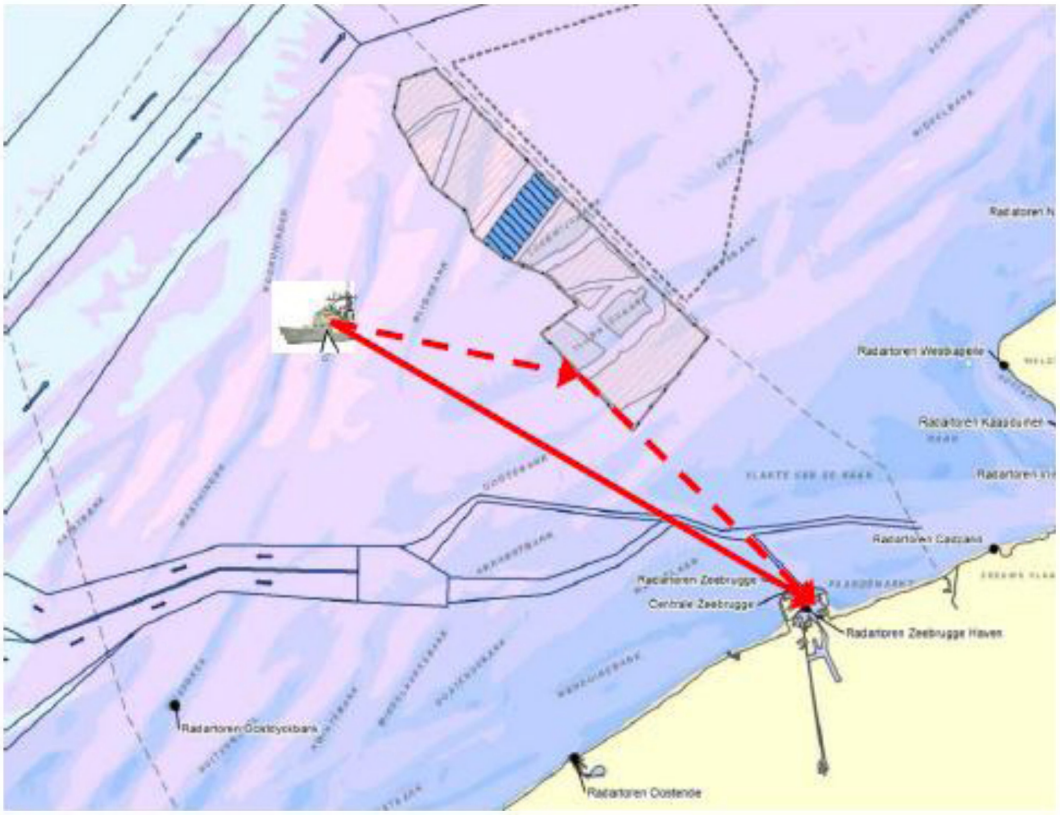


Figuur 9-2 Schakelschema van de RDF installatie op basis van R&S DDF04/ADD050SR

Indien er zich in de omgeving van het rechtstreekse transmissiepad een reflecterend voorwerp bevindt, dan kan een tweede golffront de RDF antenne bereiken, en dit vanuit een andere richting en met een andere fase dan het oorspronkelijke rechtstreekse signaal.

Beide signalen zich samen stellen tot een nieuw signaal, dat als resultante uit een andere richting komt. Dit effect is geschetst in Figuur 9-3.

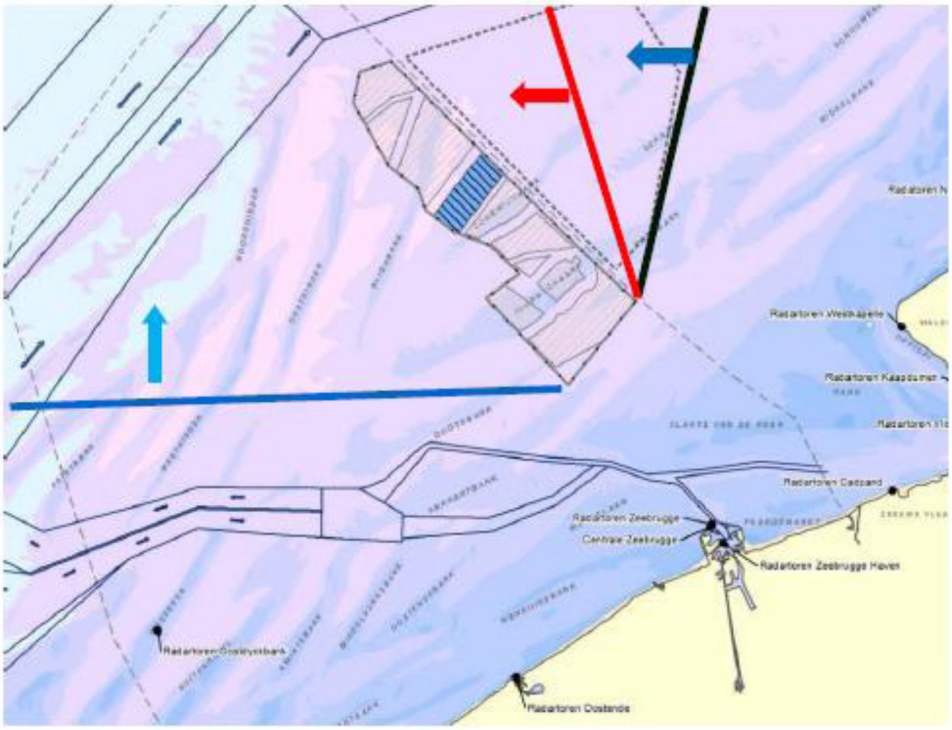
.



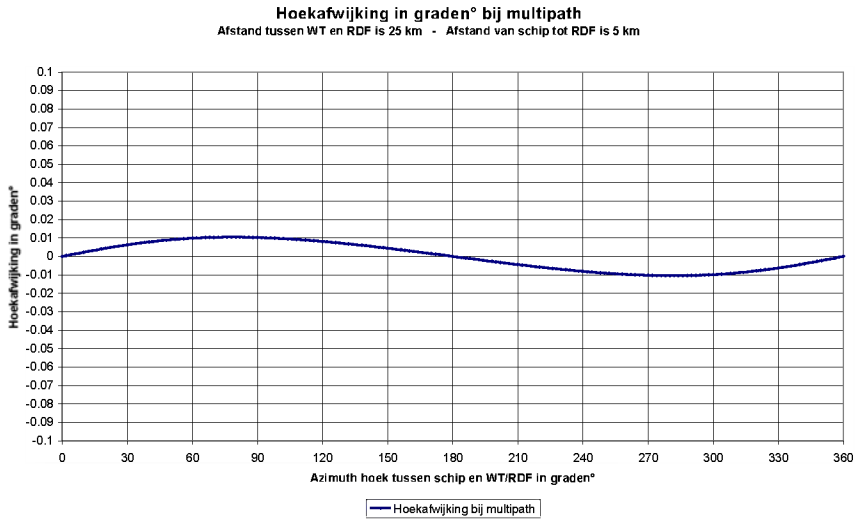
Figuur 9-3 Principe schets van multipath effect voor RDF

Praktisch dient gesteld te worden dat het storend signaal voldoende amplitude moet hebben om het oorspronkelijke signaal aanzienlijk te verstoren. Dit is direct afhankelijk van de radio-doorsnede van het reflecterende voorwerp en van de afstand van dit voorwerp tot de RDF antenne. In de volgende grafieken worden windturbines in acht genomen op een afstand van 25 km en 40 km tot een RDF peilstation.

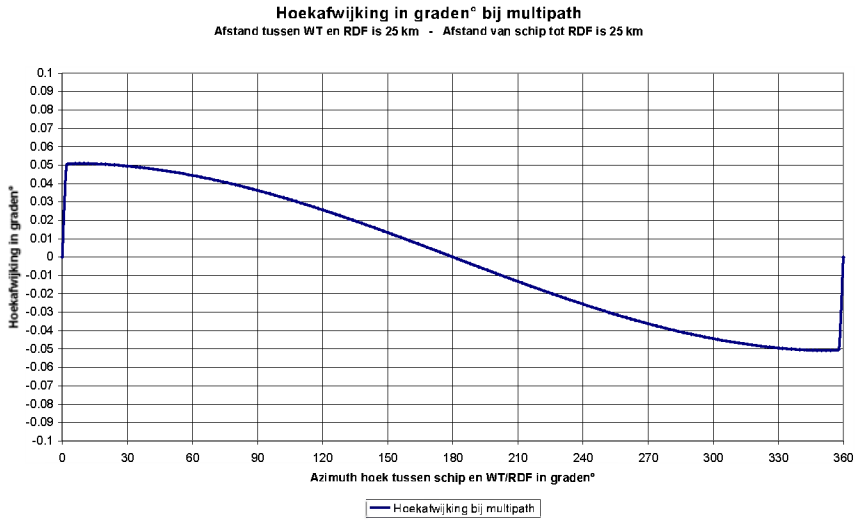
RDF peilstations bevinden zich in Nieuwpoort, Zeebrugge en Haamstede. En er wordt gepeild vanaf de Westhinder, Steenbank en Vlissingen.



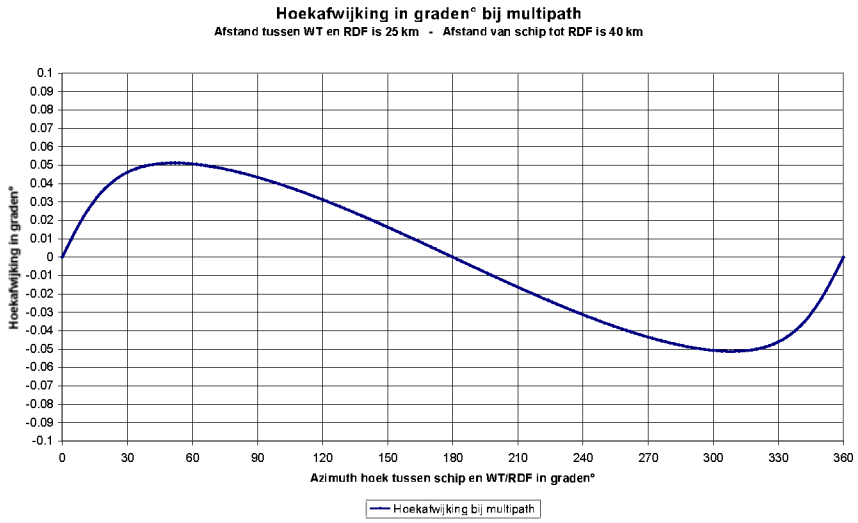
Figuur 9-4 Schematische weergave van blinde zones voor de RDF peilstations van Oostende (zwart), Zeebrugge (rood) en Haamstede (blauw)



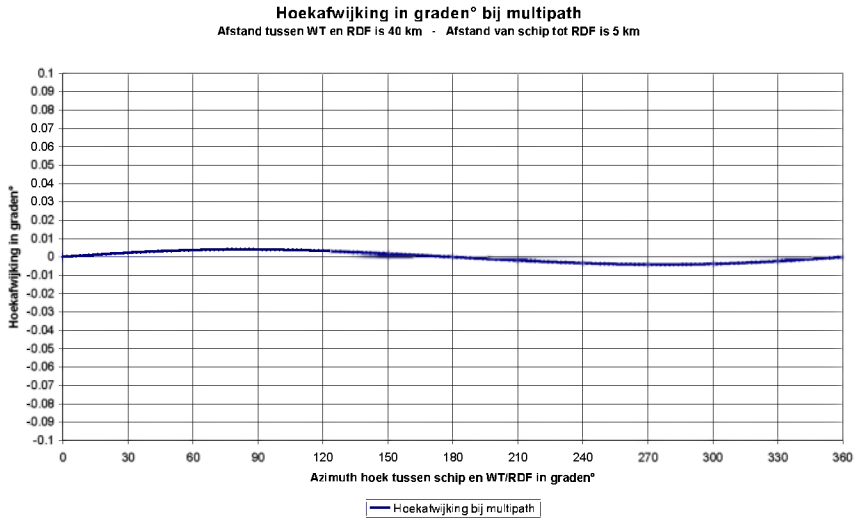
Figuur 9-5 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 5 km van het RDF station



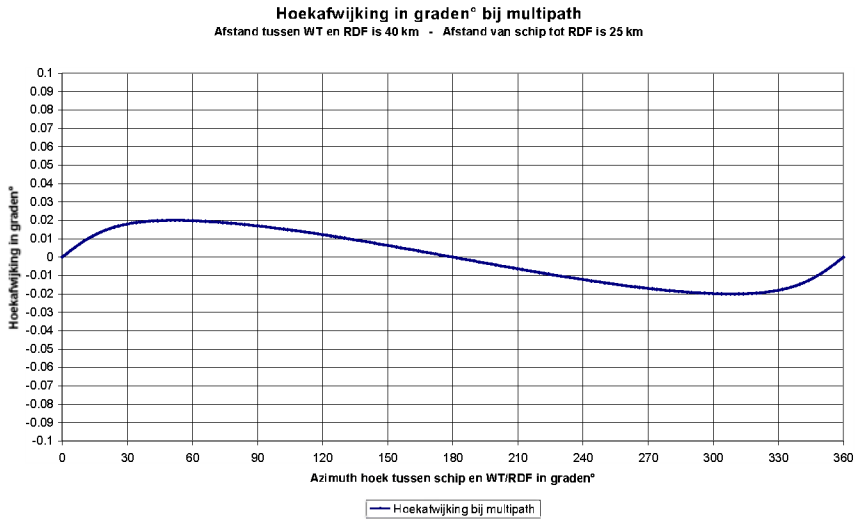
Figuur 9-6 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 25 km van het RDF station



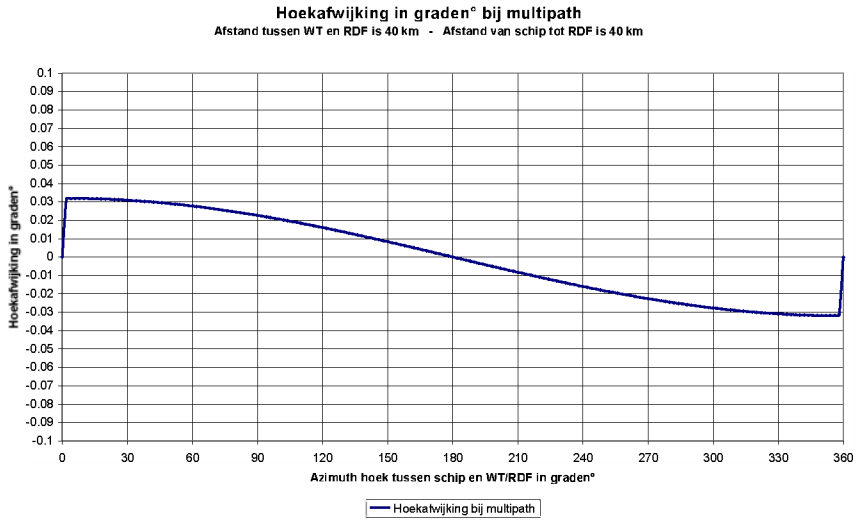
Figuur 9-7 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 40 km van het RDF station



Figuur 9-8 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 5 km van het RDF station



Figuur 9-9 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 25 km van het RDF station



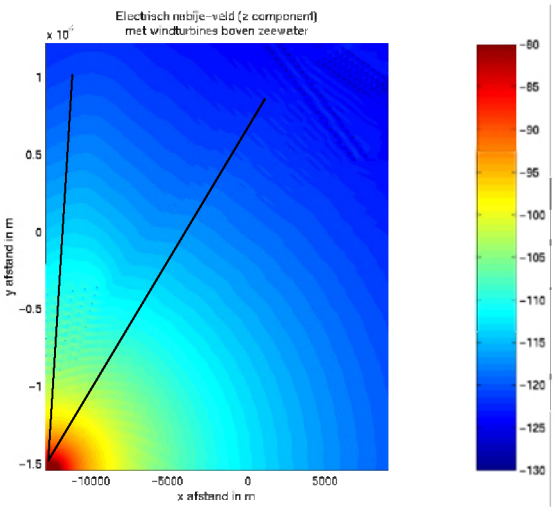
Figuur 9-10 Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 40 km van het RDF station

Peilingen vanaf de Westhinder en Vlissingen zullen niet beïnvloed worden, gezien de afstand en de relatieve ligging van het concessiegebied tot die resptectievelijke RDF stations. Bij de peilingen vanuit Zeebrugge naar de Steenbank liggen rechtstreeks en gereflecteerd signaal quasi in lijn. Een fout in de grootte orde van 0,1° kan hierbij vooropgesteld worden.

9.1 DGPS ZENDER IN OOSTENDE (312 KHZ)

De DGPS zender in Oostende werkt op een (zeer lage) frekwentie van 312 kHz (wat dus een golflengte inhoudt van 960,9 m). Dit betekent dat de windturbineparken in de concessiegebieden, zich – naar antenne normen – bevinden in de zogenaamde zone van “nabije veld”.

Uit voorgaande studies blijkt dat de invloed van een windturbinepark binnen het nabije veld bij deze lage frequenties, slechts zeer minimale invloeden met zich mee brengt. Een voorbeeld is gegeven in de volgende figuur voor een concentratie met 3 turbines. Meer details in de paper COST 273 (COST 273, 2002).



Figuur 9-11 Voorbeeld van de kleine verstoringen op het DGPS signaal van een zender met windturbines in het nabije veld van de zendantenne.

10. CONCLUSIES IMPACTANALYSE

Uit de analyses en bijhorende simulaties in Flemtek-IMDC (2012, 2013) kunnen een aantal conclusies geformuleerd worden, naar zowel de cumulatieve en grensoverschrijdende effecten in het algemeen, als naar de impact van het project SeaStar in het bijzonder op de operationele werking van de radarsystemen en de marifonie. Deze effecten werden beschreven in de betreffende hoofdstukken (Cumulatieve effecten en Grensoverschrijdende effecten, resp.). De conclusies omvatten tevens de effecten omtrent het gehele Belgische concessiegebied op de SRK radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone radiocommunicatiesystemen.

Algemeen kan gesteld worden dat de realisatie en inplanting van het singuliere offshore windmolenpark SeaStar geen noemenswaardige invloed zal hebben op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer, zoals het zich vandaag de dag voordoet. Mogelijke cumulatieve effecten van meerdere windmolenparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ, zullen in eerste instantie bepaald worden door de effecten van de projecten het dichtst onder de kust gelegen Norther en C-Power, vóór en op de Thorntonbank, gezien deze gebieden nog binnen de actieve zone van zowel de Vlaamse en Nederlandse SRK radarstations, als de VHF radiostations gelegen zijn.

Verder dient er op gewezen te worden dat in deze studie enkel de effecten van de SRK radarbewaking van de scheepvaart, de radarwaarneming door de scheepsradar en de VHF radio communicatie (schip/wal en schip/schip) besproken zijn. De bewaking van het hier beschouwde windmolenpark zelf (en van de diverse andere windmolenparken) is in deze studie niet aan bod gekomen. Hiervoor dienen er uiteraard gepaste maatregelen getroffen te worden, vooral om de scheepvaarttrafiek om en rond de meer zeewaarts gelegen zijde van het afgebakende concessiegebied op het BDNZ adequaat op te volgen. Hierbij kan gedacht te worden aan een bijkomende radarinstallatie, op een gepaste locatie en met eventueel een beperkte reikwijdte. Het is echter evident dat een dergelijke extra radarinstallatie meteen alle offshore windmolenparken (Norther, C-Power, RENTEL, Northwind, SeaStar, Belwind en Mermaid) en het Alpha-eiland van Elia op de Lodewijkbank kan en zal “bedienen”.

11.REFERENTIES

ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France) (2002). Perturbation de la reception des ondes radioélectriques par les éoliennes.

ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France) (2008). Perturbation du fonctionement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes.

COST 273 (2002). Van Lil, Trappeniers, Catrysse, Computations of the effects of windturbines on RF sytems, 2002

Eurocontrol (2010). Guidelines how to assess the potential impact of windturbines on surveillance sensors.

Frye et al. (2011). New measurement results for WT radar impacts together with aircraft overflight tests, Cassdian 2011, presented at the EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop in Brussels.

Frye et al. (2011). WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Cassidian/EADS, October.

Greving G. (2007). Wind Turbines in the Radiation Field of Systems from a Prediction and Siting Point of View.

Greving G. (2009). On the Relevance of the Measured or Calculated RCS for Objects on the Ground, WT's.

Greving G. (2009). RCS – Numerical, Methodological and Conceptional Aspects for the Analysis of Objects.

Greving G. (2010), Wind Turbines as Distorting Scattering Objects for Radar-Clutter Aspects and Visibility.

ITU-R BT.805 (1992). Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine.

Perry J. (2007). Wind Farm clutter mitigation in air surveillance radar, IEEE A&E Systems Magazine, June.

Pinto J. (2009). Radar Signature Reduction of Wind Turbines through the application of stealth technology.

Poupart G. (2003). Wind Farms impact on radar aviation interests, Qinetiq, FES W/14/00614/00/REP, September.

Rashid L. (2007). RCS and radar propagation near off shore wind farms.

TSC (2008). Report of the effect on radar performance on the proposed Cape wind project, December.

Bijlage A Literatuuroverzicht

Hierna wordt een overzicht gegeven van beschikbare literatuur omtrent RCS waarden van schepen en windturbines en diverse effecten van offshore windparken op radarinstallaties.

Algemene informatie

- Offshore renewable energy installations, Guidance on UK practice and safety, MGN 371, Maritime and Coastguard Agency, August 2008
- RCS in radar range calculations for maritime targets, Ingo Harre, Bremen, V2.0, 2004
- Definition and control of the RCS requirement on surface combatant vessels, IDS Ingegneria dei systemi, http://www.armedforces-int.com/article/rcs-ship-requirements
- Bistatic radar cross section for ship targets, George Ewell & Stephen Zehner, IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. OE-5, no. 4, pp. 211-214, October 1980
- RCS and radar propagation near offshore wind farms, L. Rashid & A. Brown, IEEE 2007
- First customer installation and site trials with the new SCANTER 5000 radar of Therma, Jens Pederson, Therma, 2010
- Small target detection from the next generation SCANTER 5000 radar of Therma, Jens Pederson, Therma, 2010

Offshore windparken en invloed op de walradar en scheepsradar

- Revised Navigational Risk Assessment for the Cape wind project, Nantucket Sound, ESS Group Inc., Wellesley, Massachusetts, November 2006
- Report of the effect on the radar performance on the proposed Cape wind project (appendix M), US Department of the interior Minerals Management Service, Jan. 2009
- Results of the electromagnetic investigations and assessments or marine radar, Communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, M. Howard & C. Brown, QinetiQ/03/00297/1.1 and MCA MNA 53/10/366, November 2004
- Methodology for assessing the marine navigational safety risks of offshore wind farms, DTI, MCA and Department for Transport, UK, 2005
- Aberdeen offshore wind farm development, Navigational risk assessment, Anatec, 2006
- Investigation of technical and operational effects on marine radar close to Kentish Flats Offshore wind farm, DTI, MCA en BWEA, April 2007
- Veiligheid en beveiliging van offshore windturbineparken, Integrale veiligheidsstudie,
- Van Dalfsen, Tamis, Vanderwal, Blankendaal, Spruijt, Logtenberg, Kleijweg, vanderHeijden (TNO), Sluijs, Folkers (Ecofys), Leemans (Stichting de Noordzee), We@Sea project 2004-022
- Stealth technology for wind turbines, Department for Business Enterprise & Regulatory Reform (BERR), Final Report, December 2007 (contract 44/00658/00/00).
- Assessment of likely effects on marine radar close to the proposed Nantucket Sound
- Offshore wind farm, report 5.3.4-1, D. Barber, Marico, Marine & Risk Consultants Ltd,
- Southampton (UK), August 2008
- Impact modeling of wind farms on marine navigational radar, L. Rashid & A. Brown, MACS engineering research group, University of Manchester, 2007
- The impact of wind farms on marine radar, A. Brown & L. Rashid, Int. Energy Agency, 60th IEA topical meeting “Radar, radio links and wind turbines”, Proceedings, Amsterdam, November 2009
- Monitoring effects of wind parks at see, A. Klip, MBM – Movares, Int. Energy Agency, 60th IEA topical meeting “Radar, radio links and wind turbines”, Proceedings, Amsterdam, November 2009
- Scattering analysis of a wind farm, A. Casanova et al., Proceedings of the 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich 2009
- Perturbation du fonctionement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes, ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), 2008
- Computations of the effects of windturbines on RF sytems, Van Lil, Trappeniers & Catrysse, COST 273, 2002

Offshore windparken en invloed op de radar (luchtvaart)

- Wind turbines and radar: operational expericence and mitigation measures, report to a Consortium of wind energy companies, Spaven Consulting, Edinburgh, 2001
- Wind farms and radar, M. Brenner et al., Jason Mitre Corporation, McLean Virginia, Report JSR 08 125, January 2008
- Report to the congressional defense committees, The effect of windmill farms on military Readiness, US Department of defense, 2006
- Radar Signatures and wind turbines, M. Ragheb, January 2009
- Modeling the effects of wind turbines on radar returns, R. Ohs, G. Skidmore & G. Bedrosian, Remcon Inc. State College, PA USA, 2010
- CAA Policy and guidelines no wind turbines, UK civil aviation authority, CAP 764
- Riviera wind farm effect on Kingsville naval air station radar, ATDI, 2009
- Impact of Riviera wind farm on monopulse secondary surveillance radar at Kingsville naval air station, ATDI, 2009
- Range Doppler domain signal processing to mitigate wind turbine center, F. Nai et al.
- Assessment of the effects of wind turbines on Air Traffic Control radars, NTIA
- Wind turbine clutter, B. Hernando, F. Martinez, “Radar Technology” December 2009
- Characterisation and mitigation of wind turbine clutter on the WSR network, B. Isom et al., NEXRAD radar operations center, Norman, Oklahoma (USA)
- Investigation of Doppler features from wind turbine scattering, A. Naqvi et a l., IEEE Antennas and wireless propagation letters, Vol. 9, 2010
- Radar and windturbines, A.Theil et al. (TNO), IEEE Radar Conference, 2010
- Software tools for the analysis of potential impact of wind farms on radiocommunication services, Int. Symposium on BMSM, IEEE 2011
- Radar performance degradation due to the presence of wind turbines, A.Theil et al., IEEE Radar Conference, 2007
- Impact study of 130 offshore wind turbines in Nantucket Sound, S.Hawk, 2009
- Eurocontrol, Guidelines how to assess the potential impact of windturbines on surveillance sensors, 2010
- Wind Farms impact on radar aviation interests, G. Poupart, Qinetiq, FES W/14/00614/00/REP, September 2003
- Wind Farm clutter mitigation in air surveillance radar, J. Perry, IEEE A&E Systems Magazine, June 2007
- Radar Signature Reduction of Wind Turbines through the application of stealth technology, J. Pinto, 2009
- Wind Turbines in the Radiation Field of Systems from a Prediction and Siting Point of View, G. Greving, Navcom 2007
- RCS – Numerical, Methodological and Conceptional Aspects for the Analysis of Objects, G. Greving, Navcom 2009
- On the Relevance of the Measured or Calculated RCS for Objects on the Ground, WT’s G. Greving, Navcom 2009
- Wind Turbines as Distorting Scattering Objects for Radar-Clutter Aspects and Visib,G. Greving, Navcom 2010

- New measurement results for WT radar impacts together with aircraft overflight tests, Frye et al., Cassdian 2011, EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop
- WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Frye et al., Cassidian/EADS, October 2011
- ITU-R BT.805, Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine, 1992
- Perturbation de la reception des ondes radioélectriques par les éoliennes, ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), 2002
- Interaction between radar systems and windfarms, J. Matthews et al., BAEsystems, Loughborough antenna's and propagation conference, 2008

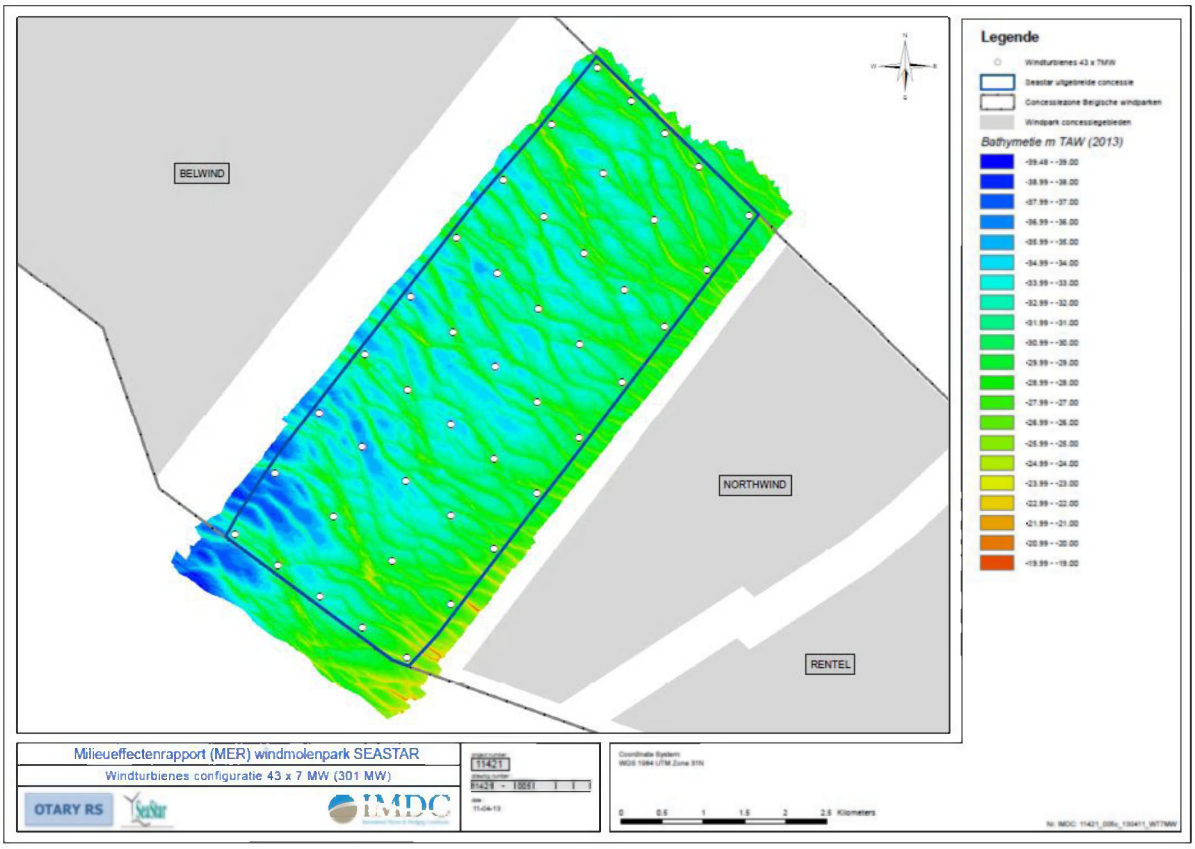
Bijlage B Varianten inplanting windturbines

Op het moment van deze studie liggen drie mogelijke varianten voor, voor wat de inplanting van de windturbines betreft. De definitieve inplanting is onmiddellijk gerelateerd aan de definitieve keuze van het type windturbine:

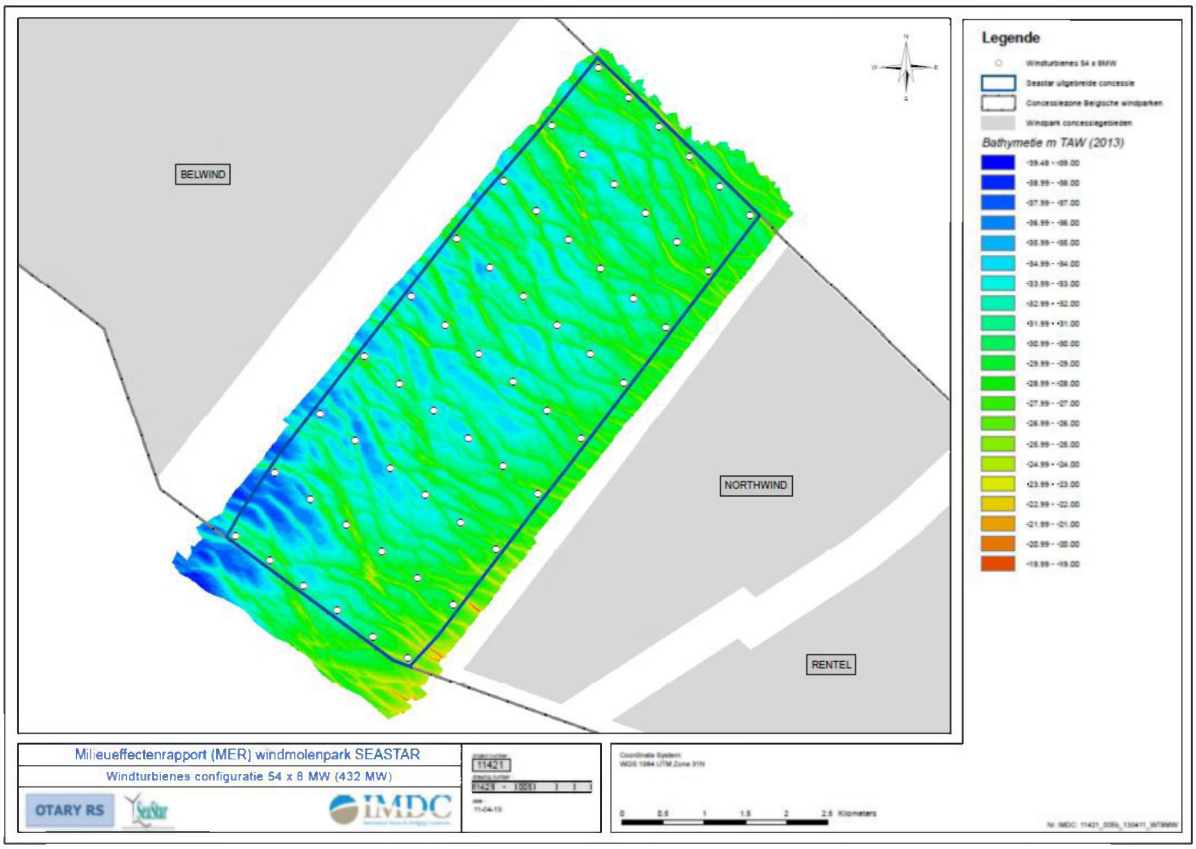
• voorbeeld type WT:	Samsung 7M	Vestas V164	Areva 5 MW
• masthoogte:	110 m (7 MW)	107 m (8 MW)	95 m (5 MW)
• mastdiameter voet:	10 m (7 MW)	10 m (8 MW)	10 m (5 MW)
• mastdiameter top:	8 m (7 MW)	6 m (8 MW)	5 m (5 MW)
• rotordiameter:	171 m (7 MW)	164 m (8 MW)	135 m (5 MW)
• gondel:	15 x 6 x 5 m (vermoedelijke afmetingen)		
• wieken:	kunststofmateriaal, met interne bliksemafleider		

De gedetailleerde inplantingsplannen voor elke variant wordt in de volgende Figuur Bijlage B-1, Figuur Bijlage B-2, Figuur Bijlage B-3 gegeven. Hieruit blijkt dat er geen principieel verschil is qua oriëntatie van de uitlijning voor de verschillende varianten.

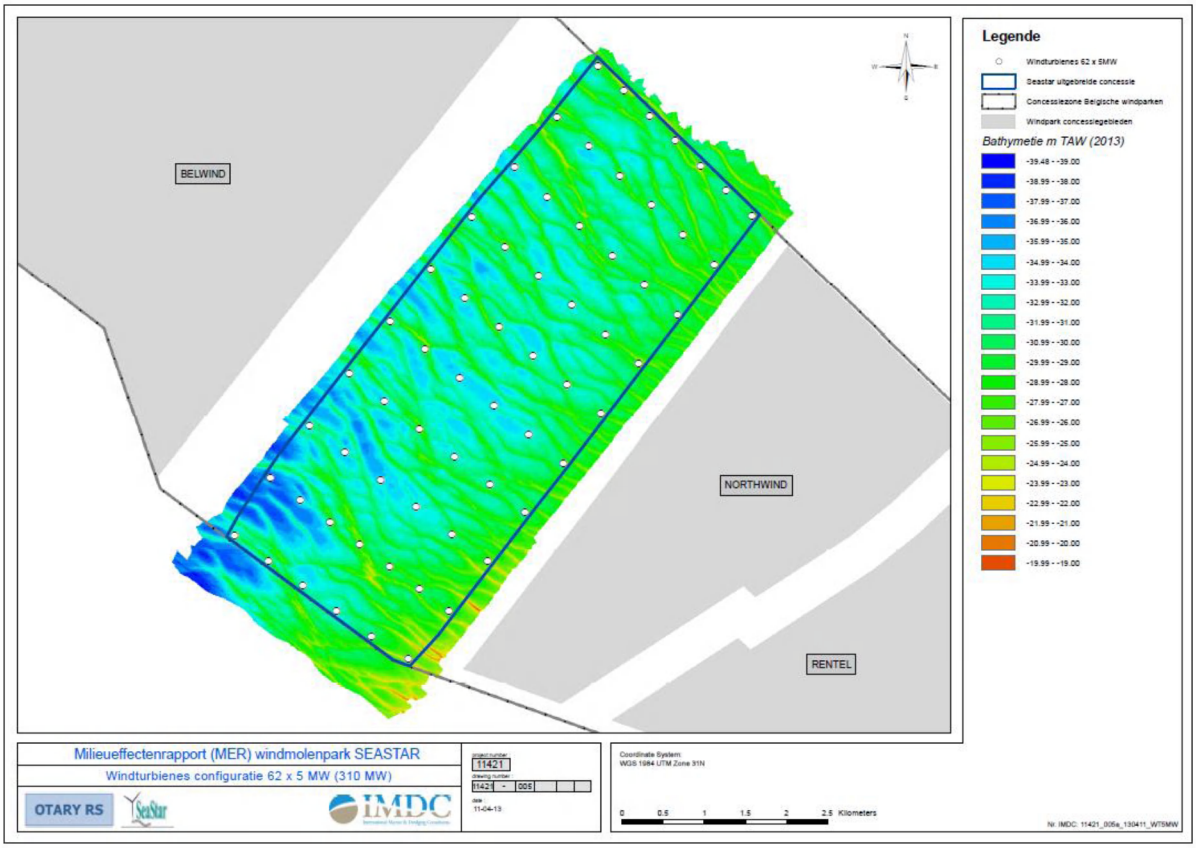
Dit houdt meteen in dat de conclusies omtrent de vrije radar/radio propagatie doorheen het windpark (zowel voor de SRK radar, scheepsradar als de VHF communicatie) geldig en ongewijzigd blijven, onafhankelijk van de definitieve keuze van windturbine en de bijhorende inplanting van de windturbines.



Figuur Bijlage B-1 Inplanting van 43 x 7 MW windturbines (Samsung)



Figuur Bijlage B-2 Inplanting van 54 x 8 MW windturbines (Vestas V164)



Figuur Bijlage B-3 Inplanting van 62 x 5 MW windturbines (Areva)



VEILIGHEIDSSTUDIE OFFSHORE WINDPARK SEASTAR

Concept rapport

Rapport Nr. : 25095-1-MSCN-rev.1
Datum : 4 juli 2013

Paraaf Management:

MARIN
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

T +31 317 47 99 11
F +31 317 49 32 45

E mscn@marin.nl
I www.marin.nl

VEILIGHEIDSSTUDIE OFFSHORE WINDPARK SEASTAR

Opdrachtgever : THV SeaStar
Scheldedijk 30
2070 Zwijndrecht
België

Revisienr.	Status	Datum	Auteur	Voor gezien
0	Concept	19 juni 2013	Ir. W.H. van Iperen	
1	Concept	3 juli 2013	Ir. W.H. van Iperen	
2	Concept	4 juli 2013	Ir. W.H. van Iperen	

INHOUDSOPGAVE

Pag.

1 INLEIDING 9

2 DOELSTELLING 9

3 WERKWIJZE 10
3.1 SAMSON 10
3.2 Effect van het windpark 12
3.3 Modelinvoer en uitgangspunten 13
3.3.1 Verkeer 13
3.3.2 Gebruikte modellen 19
3.4 Gevolgschade 19
3.4.1 Schade aan windturbine en schip. 19
3.4.2 Bepalen van persoonlijk letsel 21
3.5 Effecten voor de scheepvaart 22
3.6 Cumulatieve effect 24
3.7 Kruisende scheepvaart 24
3.8 Tijdelijk onmanoeuvreerbare schepen 37

4 RESULTATEN 40
4.1 Locatie, scenario's en configuraties 40
4.2 Aanvaar/aandrijf frequenties windparken 43
4.3 Gevolgschade 48
4.3.1 Schade aan het schip 48
4.3.2 Schade aan de windturbines 48
4.3.3 Milieuschade 48
4.3.4 Persoonlijk letstel 51
4.4 Effecten en overige risico's voor de scheepvaart 52
4.4.1 Aantal aanwezige schepen 52
4.4.2 Veiligheid 52
4.4.3 Economisch effect 52
4.4.4 Emissies 52
4.5 Het effect van het werkverkeer op het risico 55
4.6 Het cumulatieve effect 55
4.7 Radardekking van de Belgische havens 55
4.8 Kruisende scheepvaart 55

5 MAATREGELEN 57
5.1 Gebruik van AIS 57
5.2 Inzet van een ETV (Emergency Towing Vessel) 57
5.3 Autonome ontwikkeling uitstroom van olie 58

6 CONCLUSIES 59

REFERENTIES 60

APPENDIX A1: 61
Resultaten windpark SeaStar onder scenario 1-41 61

APPENDIX A2: 68
Resultaten windpark SeaStar onder scenario 1-62 68

APPENDIX A3: 74
Resultaten windpark SeaStar onder scenario 2-41 74

APPENDIX A4: 80
Resultaten windpark SeaStar onder scenario 2-62 80

OVERZICHT VAN TABELLEN EN FIGUREN

Tabellen:

Tabel 3-1 Scheepsgrootteklassen in SAMSON 15
Tabel 3-2 Hoofdscheepstypen in SAMSON en onderverdeling in routegebonden (R) en niet-routegebonden (N) 15
Tabel 3-3 Bezwijkvormen met de geschatte percentages van voorkomen en de schatting van de resulterende schade aan de turbine en het schip 21
Tabel 4-1 Aanwezige windparken per verkeersscenario 40
Tabel 4-2 Configuratie gegevens 41
Tabel 4-3 Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario 45
Tabel 4-4 Gemiddelde aanvarings- en aandrijvingsfrequentie per turbine voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario 45
Tabel 4-5 Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per MWh voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario 45
Tabel 4-6 Verwachte aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken en configuraties in cumulatief scenario 1 46
Tabel 4-7 Verwachte aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken en configuraties in cumulatief scenario 2 46
Tabel 4-8 Verwacht totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor alle parken in een scenario 47
Tabel 4-9 Verwacht aandeel aanvaringen/aandrijvingen voor het SeaStar windpark in verhouding met het totaal voor alle windparken per scenario 48
Tabel 4-10 Uitstroomkans en hoeveelheid van bunkerolie en ladingolie 50
Tabel 4-11 Uitstroom van bunkerolie en ladingolie als percentage van de totale uitstroom die als gevolg van de veronderstelde windparken in de scenario's plaats vindt 50
Tabel 4-12 Gemiddelde olie uitstroom vanwege het SeaStar windpark ten opzichte van alle windparken per scenario 50
Tabel 4-13 De uitstroom van bunkerolie en ladingolie per MWh 51
Tabel 4-14 Scoretabel voor de effecten van windpark SeaStar onder scenario 1 voor de scheepvaart op de Belgische Noordzee 53
Tabel 4-15 Scoretabel voor de effecten van windpark SeaStar onder scenario 2 voor de scheepvaart op de Belgische Noordzee 54

Tabel A1-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 1-41 62
Tabel A1-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 1-41 63
Tabel A1- 3 Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-41 63
Tabel A1- 4 Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-41 63
Tabel A1-5 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen 64
Tabel A1-6 Schade aan het totale windpark SeaStar 64
Tabel A1-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines 65
Tabel A1-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 65
Tabel A1-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 66
Tabel A1-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine 66

Tabel A1-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine 67
Tabel A1-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt 67

Tabel A2-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 1-62 68
Tabel A2-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 1-62 70
Tabel A2- 3 Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-62 70
Tabel A2- 4 Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-62 70
Tabel A2-5 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen 70
Tabel A2-6 Schade aan het totale windpark SeaStar 71
Tabel A2-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines 71
Tabel A2-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 72
Tabel A2-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 72
Tabel A2-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine 72
Tabel A2-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine 73
Tabel A2-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt 73

Tabel A3-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 2-41 74
Tabel A3-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 2-41 76
Tabel A3- 3 Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-41 76
Tabel A3- 4 Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-41 76
Tabel A3-5 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen 76
Tabel A3-6 Schade aan het totale windpark SeaStar 77
Tabel A3-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines 77
Tabel A3-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 78
Tabel A3-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine 78
Tabel A3-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine 78
Tabel A3-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine 79
Tabel A3-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt 79

Tabel A4-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 2-62 81
Tabel A4-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 2-62 83

Tabel A4- 3 Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-62 ... 83
Tabel A4- 4 Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-62 ... 83
Tabel A4-5 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen ... 83
Tabel A4-6 Schade aan het totale windpark ... 84
Tabel A4-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle windturbines ... 84
Tabel A4-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine ... 85
Tabel A4-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine ... 85
Tabel A4-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine ... 85
Tabel A4-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine ... 86
Tabel A4-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt ... 86

Figuren:

Figuur 3-1 Systeemdiagram SAMSON ... 11
Figuur 3-2 Weergave van routes langs de windparken in januari 2012 ... 17
Figuur 3-3 Verkeer van en naar Zeebrugge tussen de windparken Belwind en C-Power door, gekleurd per route ... 18
Figuur 3-4 Verkeer van en naar Zeebrugge tussen de windparken Belwind en C-Power door, gekleurd per scheepstype ... 18
Figuur 3-5 Figuren van de verschillende bezwijkvormen. ... 20
Figuur 3-6 Windpark gezien vanaf het eigen schip ... 25
Figuur 3-7 Windpark gezien vanaf het schip met een klein schip in het buitenbeeld ... 26
Figuur 3-8 Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks (I) ... 29
Figuur 3-9 Opstelling windturbines in dichte opstelling versprongen (II) ... 29
Figuur 3-10 Opstelling versprongen maar net als II maar 90º gedraaid (III) ... 30
Figuur 3-11 Opstelling vierkant als I maar dan 45º gedraaid (IV) ... 30
Figuur 3-12 Schaduwstukken > 10 m, > 20 m en > 30 m ... 31
Figuur 3-13 Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk ... 32
Figuur 3-14 Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 500 m ... 33
Figuur 3-15 Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 1000 m ... 33
Figuur 3-16 Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, afstand tussen turbines 580 m en vaarafstand 500 m ... 34
Figuur 3-17 Schaduw > 10 m, > 20 m en > 30 m lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse ... 35
Figuur 3-18 Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse ... 36
Figuur 3-19 NUC-records met snelheid over de grond < 6 knopen en drifthoek > 30° (maart -december 2005) ... 37
Figuur 3-20 Aantal storingen op traject tot havenmond ... 39
Figuur 3-21 Aantal storingen op traject tot havenmond ... 39
Figuur 4-1 Verkeersbeeld in de huidige situatie, bij aanwezigheid van windparken Belwind en C-Power ... 41
Figuur 4-2 Verkeerssituatie in het basis scenario bij aanwezigheid van Belwind, Northwind, C-Power en Norther ... 42
Figuur 4-3 Verkeerssituatie in scenario 1 bij aanwezigheid van Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther ... 42

Figuur 4-4 Verkeerssituatie in scenario 2 bij aanwezigheid van Mermaid, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther..... 43
Figuur 4-5 Weergave van de turbines in scenario 2 met de kansen voor de SeaStar-41 variant..... 47

Figuur A1-1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine 61
Figuur A1-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) . 65

Figuur A2-1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine 68
Figuur A2-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) . 71

Figuur A3-1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine 74
Figuur A3-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) . 77

Figuur A4- 1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine 80
Figuur A4-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) . 84

1 INLEIDING

De aanwezigheid van een offshore windpark heeft consequenties voor de routes van het scheepvaartverkeer in de buurt van het windpark. Sommige schepen moeten alternatieve routes kiezen of omvaren, resulterend in hogere transportkosten. De veranderingen van de verkeersstromen rond het windpark kunnen bovendien resulteren in toename van het aanvaringsrisico van schepen onderling. De aanwezigheid van het windpark veroorzaakt ook direct een risico op aanvaring of aandrijving van de turbines door de schepen.

Op 1 juni 2012 is aan THV SeaStar de domeinconcessie toegekend voor de bouw en exploitatie van een offshore windturbine. Voor het verkrijgen van een passende milieuvergunning voor het betreffende project dient een milieueffectenrapportage te worden opgesteld. In overleg met de bevoegde Belgische autoriteit is besloten dat als onderdeel van de MER-studie, welke door IMDC NV wordt uitgevoerd, een veiligheidsstudie dient te worden uitgevoerd naar de effecten van het windpark op de scheepvaart.

THV SeaStar heeft MARIN opdracht gegeven deze veiligheidsstudie uit te voeren. Dit rapport beschrijft de aanpak en resultaten van de studie.

De opbouw van dit rapport is als volgt:
Hoofdstuk 2 bevat de doelstelling van deze studie. In Hoofdstuk 3 is geschetst hoe de veiligheidsstudie is opgezet, welke informatie nodig is en waar deze informatie vandaan komt. Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van de standaard werkwijze van de risicoberekeningen met het SAMSON model. Na deze beschrijving volgt een beschrijving van de analyse van het scheepvaartverkeer.
De resultaten van de veiligheidsstudie voor het windpark SeaStar worden gegeven in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 wordt ingegaan op eventuele maatregelen die het risico voor de scheepvaart kunnen verkleinen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies van de studie.

2 DOELSTELLING

De doelstelling van deze studie is het bepalen van de effecten op de scheepvaart voor twee verschillende omgevingsscenario's en twee verschillende configuraties van het windpark SeaStar. Hiertoe wordt specifiek het volgende gekwantificeerd:

- De kans op een aanvaring/aandrijving van een windmolen per jaar.
- De milieueffecten in termen van uitstroom van bunkerolie en ladingolie als gevolg van een aanvaring met een windmolen.
- Persoonlijk letsel in termen van het verwachte aantal doden als gevolg van een aanvaring met een windmolen.
- De aanvaringsrisico's van schepen onderling.

3 WERKWIJZE

In paragrafen 3.1 tot en met 3.3 wordt de aanleiding voor en aanpak van de aanvullende berekeningen in detail besproken. In de paragrafen vanaf 3.4 wordt de generieke werkwijze bij veiligheidsstudies beschreven.

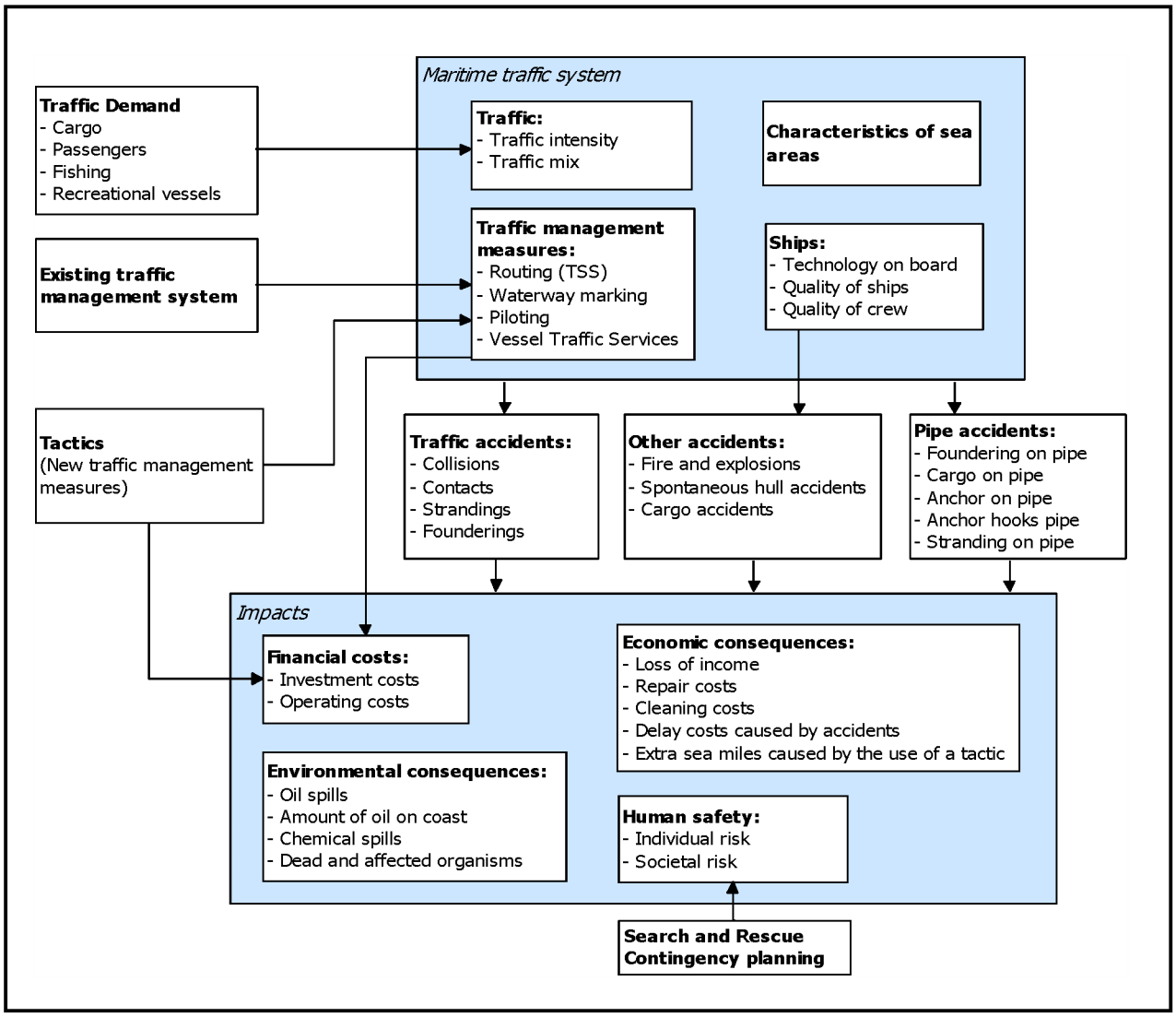
3.1 SAMSON

Het SAMSON-model (Safety Assessment Model for Shipping and Offshore on the North Sea) is ontwikkeld voor het voorspellen van effecten van ruimtelijke ontwikkelingen in de Noordzee, van ontwikkelingen in de scheepvaart zelf en van maatregelen ten aanzien van de scheepvaart. De effecten die met het model bepaald kunnen worden bestaan uit:

- Aantal ongevallen per jaar, onderverdeeld naar aard van de ongevallen en betrokken schepen en objecten.
- Omgevaren afstand en gerelateerde kosten
- Emissie van milieugevaarlijke stoffen
- Consequenties van ongevallen, zoals het uitstromen van lading- of bunkerolie of persoonlijk letstel.

Het model is ontwikkeld voor Directoraat-Generaal Goederenvervoer (nu Directoraat-Generaal Transport en Luchtvaart) en wordt gebruikt om de kansen en consequenties van alle type ongevallen op zee te schatten. Een algemene beschrijving van het model kan worden gevonden in [1]. In de executive summary van POLSSS, Policy for Sea Shipping Safety [2], wordt beschreven op welke wijze SAMSON gebruikt is om de kosten en gevolgen van een groot aantal beleidsmaatregelen te voorspellen.

In Figuur 3-1 wordt het systeemdiagram weergegeven van het SAMSON-model, vrijwel alle blokken in dit diagram zijn beschikbaar binnen het model. Het grote blok “Maritime traffic system” (rechts boven) bevat vier sub-blokken. Deze vier sub-blokken beschrijven het verkeersbeeld; het aantal scheepsbewegingen, de scheepskenmerken (lengte enz.) en de lay-out van het zeegebied. De ongevalskansmodellen voor een aanvaring, stranding, brand/explosie etc. worden gebruikt om de ongevalsfrequentie te voorspellen gebaseerd op het verkeersbeeld. Het grote blok “Impacts” bevat de sub-blokken waarmee de consequenties bepaald worden van de ongevallen.



Figuur 3-1 Systeemdiagram SAMSON

3.2 Effect van het windpark

De aanleg van het windpark heeft gevolgen voor de scheepvaart. Een schip dat nu een route volgt door het toekomstige windpark, zal in de toekomst zijn route moeten verleggen en het windpark op minimaal 500 meter afstand passeren. Dit betekent dat dit schip **hinder** ondervindt van het windpark. Er zijn echter meer gevolgen. Doordat het schip een andere route neemt krijgen de scheepvaartroutes buiten het windpark een hogere (misschien fractioneel) intensiteit. Als gevolg van de hogere intensiteiten op deze routes is het de verwachting dat het aantal ontmoetingen en dus ook het aantal ongevallen toeneemt.
Er treden echter ook nieuwe typen ongevallen op, namelijk **aanvaringen** en **aandrijvingen** met een windturbine van het windpark. In SAMSON worden dit soort ongevallen aangeduid met respectievelijk ***rammings*** en ***drifting contacts***;

- Een **ramming** (aanvaring) is het gevolg van een navigatiefout, wanneer de navigator van een schip, dat op ramkoers ligt met een windturbine van het windpark, niet of te laat reageert. Een navigatiefout kan verschillende oorzaken hebben, zoals; onwetendheid, het niet zien van het windpark, het niet aanwezig zijn op de brug, onwel worden en niet kunnen reageren etc. De snelheid bij de aanvaring is hoog.
- Een **drifting** (aandrijving) treedt op wanneer een schip door een machinestoring niet meer manoeuvreerbaar is. In eerste instantie zal men proberen voor anker te gaan, maar indien dit niet mogelijk is, is het schip overgeleverd aan wind, golven en stroom. Een driftend schip kan vervolgens tegen een windturbine van het windpark komen zonder dat men dit aan boord kan voorkomen. De aanvaring is dwarsscheeps en de snelheid gering.

Deze ongevallen komen voort uit het scheepvaartverkeer rondom het windpark en **behoeven niet noodzakelijkerwijs** tot de groep schepen beperkt te blijven die door het gebied van het windpark voeren toen dat er nog niet was.

Om de effecten van het windpark op de scheepvaart te kunnen berekenen moet de nieuwe afwikkeling van het scheepvaartverkeer voor de situatie met het windpark in SAMSON gemodelleerd worden. De scheepvaart moet het windpark op minimaal 500 m passeren. Door de grootte van het windpark wordt de verkeersafwikkeling duidelijk beïnvloed door het windpark. Voor iedere locatie van het windpark is daarom een nieuwe verkeersdatabase aangemaakt, waarin het veranderde vaarpatroon is ingebracht. Vervolgens kunnen de ongevalskansmodellen van SAMSON toegepast worden voor het doorrekenen van de effecten van het windpark voor de scheepvaart. Op basis van de nieuwe verkeersdatabase wordt een complete **risicoanalyse** uitgevoerd. Dit houdt in dat het *veranderde* risico voor de scheepvaart wordt bepaald ten gevolge van de veranderingen in de verkeersafwikkeling rond het windpark. Daarboven wordt het door het windpark geïntroduceerde nieuwe risico, namelijk de kans op een aanvaring met het windpark bepaald.

3.3 Modelinvoer en uitgangspunten

De volgende uitgangspunten worden voor de berekeningen gehanteerd.

3.3.1 Verkeer

Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een verkeersdatabase. Een verkeersdatabase bevat links, linkintensiteiten en linkkarakteristieken. Een link is de rechte verbinding tussen twee punten. De linkintensiteit beschrijft het aantal schepen dat per jaar over die link vaart, onderverdeeld naar scheepstype en scheepsgrootte. De linkkarakteristiek beschrijft hoe breed de link is en de laterale verdeling hoe het verkeer over die link verdeeld is. Het verkeer op zee wordt onderverdeeld in twee groepen, namelijk het “routegebonden” en het “niet-routegebonden” verkeer. Het routegebonden verkeer bevat de scheepsbewegingen van de koopvaardijschepen, die op weg zijn van haven A naar haven B. Het niet-routegebonden verkeer bevat de scheepsbewegingen van de schepen die een missie ergens op zee hebben, zoals visserij, supplyvaart, werkvaart en recreatievaart. In SAMSON zijn deze scheepsgroepen op een verschillende manier gemodelleerd.

Het *routegebonden* verkeer is gemodelleerd op scheepvaartroutes over de Noordzee. Vanwege de ligging van de havens en de verkeersscheidingsstelsels beweegt het grootste deel van deze schepen zich over een netwerk van links (met een bepaalde breedte), vergelijkbaar met het wegennetwerk op het land. In de praktijk kunnen er schepen buiten deze links varen aangezien men overal mag varen, zolang men de regels in acht neemt. Dit aandeel is echter zeer klein aangezien de links met elkaar alle kortste verbindingen tussen havens omvatten.

Voor het bepalen van het netwerk van links op de Belgische Noordzee, en de bijbehorende intensiteiten, is gebruik gemaakt van de AIS-data van het hele jaar 2012 verzameld door de Nederlandse Kustwacht. AIS (Automatic Identification System) is een systeem dat automatisch een aantal malen per minuut (afhankelijk van de snelheid) een bericht uitzendt waarin de positie, snelheid en vaarrrichting zijn opgenomen en enkele belangrijke gegevens voor de scheepsidentificatie. Dit vergemakkelijkt het contact opnemen met elkaar in geval van een potentieel gevaarlijke situatie, zoals een dreigende aanvaring tussen twee schepen. Door AIS is de kans op een aanvaring tijdens een ontmoeting afgenomen. AIS heeft een bijkomend voordeel dat de scheepvaart ook vanaf de wal steeds beter gevolgd kan worden. De AIS-berichten van de schepen worden opgevangen door ontvangststations langs de kust en op offshore platforms die de informatie doorzenden naar het Kustwachtcentrum in Den Helder. Hier worden de AIS targets op een grote wand geprojecteerd. Men heeft nu in het Kustwachtcentrum een goed beeld van wat er op het Nederlandse deel van de Noordzee vaart en dit helpt bij het uitvoeren van operationele taken.
MARIN krijgt maandelijks een tape van de Kustwacht met alle AIS-data en mag deze AIS-data gebruiken voor het uitvoeren van veiligheidsstudies betreffende de scheepvaart, zoals deze.

Bij het bepalen van de verkeersdatabase is rekening gehouden met het nieuwe verkeersscheidingsstelsel op het Nederlandse deel van de Noordzee dat vanaf 1 augustus 2013 zal gelden.
Voor de locatie wordt een aangepaste verkeersdatabase gegenereerd, waarbij ervoor wordt gezorgd dat het *routegebonden* verkeer niet door de desbetreffende windparklocatie vaart. De aanvaar-/aandrijf kansen voor de turbines worden alleen bepaald voor de aangepaste verkeersdatabase, de database waarbij de locatie voor het windpark is vrijgemaakt.

Vanwege het in aanbouw zijn van meerdere windparken, is er wat betreft aanwezige windparken een verschil tussen de situatie gedurende 2012 waarvoor het verkeer is geanalyseerd, en de situatie die voor deze studie als uitgangssituatie wordt genomen. In 2012 waren windparken C-Power en Belwind reeds aanwezig, maar in de basis situatie worden daarnaast ook windparken Norther en Northwind aanwezig verondersteld. Dit wordt in Hoofdstuk 4 verder toegelicht.

Het *niet-routegebonden* verkeer (visserij, supplyvaart, werkvaart en recreatievaart) kan niet op de voorgaande wijze worden gemodelleerd. Het gedrag van dit verkeer op zee is duidelijk anders. Men vaart niet van haven A naar haven B langs duidelijke routes, maar van haven A naar een of meerdere bestemmingen op zee en vervolgens meestal weer terug naar de vertrekhaven A. Het gedrag op zee is meestal onvoorspelbaar. Vissers varen bovendien nog vaak heen en weer in een visgebied. Dit is de reden waarom dit verkeer door middel van dichtheden in 8 bij 8 km gridcellen is gemodelleerd in SAMSON.

De gemiddelde dichtheid van sportvissers, supply schepen en werkschepen komt uit het VerkeersOnderzoek NOordzee Visuele Identificatie (VONOVI) van 1999 - 2001. VONOVI is gebruikt voor de validatie van de scheepvaartroutes van het *routegebonden verkeer* en voor het bepalen van de benodigde dichtheden van het *niet-routegebonden* verkeer. Tijdens een VONOVI-vlucht werden een aantal raaien afgevlogen. Zodra men een schip dat binnen een raai voer zag, werd de positie en de scheepsnaam genoteerd. Later werden andere scheepskenmerken toegevoegd en werden alle waarnemingen verwerkt. Het deel van de Belgische Noordzee dat aan Nederland grenst, is meegenomen in het VONOVI onderzoek, zodat de dichtheid aan niet-routegebonden verkeer in het gehele Belgische concessiegebied uit het VONOVI-onderzoek bekend is.

Binnenkort kan een betere verdeling van deze scheepvaart bepaald worden aangezien steeds meer niet-routegebonden schepen al dan niet verplicht zijn uitgerust met een AIS transponder. Voor de tussenfase is voor visserij onlangs gebruik gemaakt van de VMS gegevens van 2009 van Nederlandse schepen op het NCP. VMS gegevens zijn satellietgegevens met informatie over de verspreiding van de visserijvloot door de tijd (Vessel Monitoring Through Satellite). Vissersschepen groter dan 15 m waren in dat jaar VMS-plichtig. Het aandeel van de Nederlandse vloot op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) is 80%. Daarom zijn de cijfers vermenigvuldigd met 1.25. Door een koppeling met EU logboeken (VIRIS database) is de scheepslengte achterhaald. De activiteit van een schip op het moment van registratie (varend of vissend) is vastgesteld op basis van de vaarsnelheid, het vistuig en in sommige gevallen het motorvermogen van het schip.

Aangezien de VMS gegevens gevoelige informatie bevatten, kon de data alleen anoniem voor de Nederlandse vloot ter beschikking worden gesteld en dus niet voor het Belgische deel van de Noordzee. Ter wille van de consistentie is in deze studie daarom nog gebruik gemaakt van de VONOVI dataset. Wel dient daarbij opgemerkt te worden dat er een sterke daling van de visserijbewegingen heeft plaatsgevonden sinds 2000. Op basis van de VMS-gegevens van 2009 is de dichtheid van vissersschepen op het Nederlandse deel van de Noordzee 40% minder dan die op basis van VONOVI in 2000. Deze inkrimping van 40% in de afgelopen 9 jaar wordt ook voor het Belgische deel van de Noordzee als realistisch ervaren door de experts en is dan ook ingebracht in de scenario's in deze studie. Aangezien niet bekend is, hoe de visserij zich verder gaat ontwikkelen, is er geen verder afname van de visserij gemodelleerd.

Supplyvaart: De supplyvaart verzorgt de bevoorrading van de platforms. Ze onderscheiden zich van de vissers en recreatievaart doordat de bestemming vaak vast ligt. Deze vaart gedraagt zich direct buiten de havens veel meer als *routegebonden* vaart. De supplyvaart is dan ook uit het *niet-routegebonden* verkeer gehaald en op extra links aan de routestructuur van de *routegebonden* schepen toegevoegd.
Op de Belgische Noordzee staan geen offshore platforms dus is de supplyvaart gering.

Door de bouw van de windparken wordt er extra scheepvaartverkeer gegenereerd van en naar de windparken.

- tijdens de bouwfase: bewegingen van scheepstransporten die onderdelen van windturbines naar de bouwlocatie vervoeren;
- tijdens de exploitatiefase: bewegingen van supply- en onderhoudsvaartuigen naar en vanuit de windparken.

Het extra verkeer tijdens de exploitatiefase wordt niet in de verkeersdatabases meegenomen. Voor de extra bewegingen tijdens de bouwfase wordt in Hoofdstuk 4 een afschatting van het risico gemaakt. Hierbij is uitgegaan van bewegingen waargenomen tijdens de bouw van het windpark prinses Amalia in Nederland.

Analyse van AIS-data van 2012

De scheepstypen en grootteklassen die in de SAMSON berekeningen gebruikt worden, zijn in onderstaande tabellen beschreven.

Tabel 3-1 Scheepsgrootteklassen in SAMSON

Grootteklasse	Gross Tonnage (GT)	
	Mininmaal	Maximaal
0		<100
1	100	1,000
2	1,000	1,600
3	1,600	5,000
4	5,000	10,000
5	10,000	30,000
6	30,000	60,000
7	60,000	10,000
8	>100,000	

Tabel 3-2 Hoofdscheepstypen in SAMSON en onderverdeling in routegebonden (R) en niet-routegebonden (N)

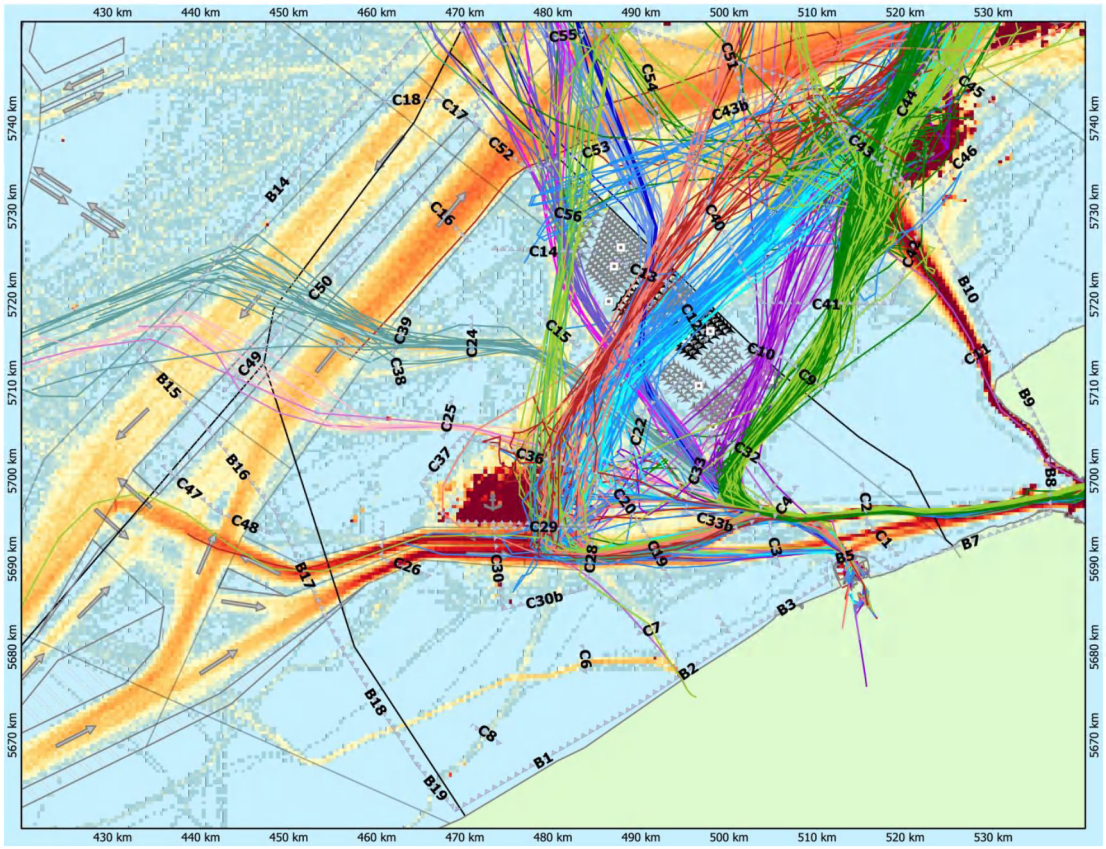
Bulker	R	Bulkvracht
Chemical	R	Chemicaliën tanker
Container	R	Containerschip
GDC	R	General Dry Cargo: schip dat droge lading vervoert
LNG	R	Liquefied Natural Gas
LPG	R	Liquefied Petroleum Gas
OBO	R	Oil, Bulk & Ore: schip dat olie, bulk of erts vervoert
Oil	R	Olietankers
Pass/Ferry	R	Passagiersschepen en veerboten
RoRo	R	Roll-on/Roll-off schip: schip dat voornamelijk vrachtwagens en opleggers met lading vervoert
Fishing	N	Groter vissersschip
Miscellaneous	N	Overige werkvaartuigen: loodsboten, baggerschepen, etc.

Pilot	N	Loodsboot
Supply	N	Bevoorradingsschip
Tug	N	Sleepboot

Voor iedere scheepsreis door het gebied gedurende 2012 wordt aan de hand van het passeren van bepaalde lijnen vastgesteld tot welke route het behoort. Doordat de AIS dekking niet altijd het gehele gebied overdekt, kan het zijn dat een reis al in het gebied verdwijnt. Voor zulke reizen wordt dan gegeven het scheepstype en scheepsgrootte een kans bepaald waarmee het tot bepaalde routes behoort op basis van de reizen die wel compleet zijn waargenomen. Hierbij wordt echter nadrukkelijk wel gelet op de scheepsgrootte, zodat voor grote schepen niet kan worden aangenomen dat deze dezelfde route als de kleinere schepen volgen.
De AIS dekking is met name minder op de drukkere doorgaande route. Omdat niet elke reis kan worden toebedeeld, of zelfs kan worden waargenomen in dit gebied, liggen de intensiteiten in dit gebied vermoedelijk lager dan in werkelijkheid. In vergelijking met de verkeersdatabase van 2008 (waarbij van de gehele Noordzee herkomst en bestemming bekend was, en ook ongeziene reizen in de AIS kunnen worden toebedeeld) is dit duidelijk te zien. Dit gebied ligt echter op redelijke afstand van de windparken.

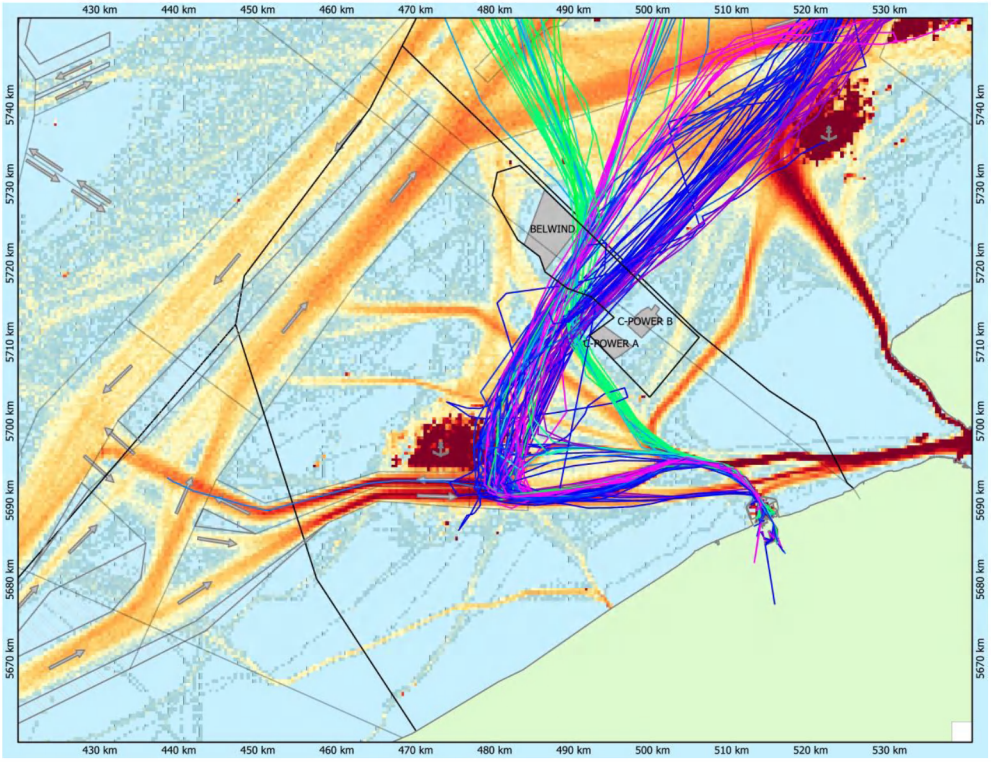
Nadat de schepen zijn toebedeeld aan routes, kunnen voor alle routes de totale aantallen schepen worden geteld. Vervolgens wordt voor elke route een beginpunt en eindpunt aangewezen. Dit kan een haven zijn (bijvoorbeeld Zeebrugge, Rotterdam, Westerschelde) of een waypoint op zee verder buiten het gebied (bijvoorbeeld in het Maas West verkeersscheidingsstelsel).
Nadat de begin- en eindpunten zijn vastgesteld, kunnen de routes over het netwerk gerouteerd worden. Omdat schepen met dezelfde herkomst en bestemming via verschillende kunnen varen, zijn hiervoor verschillende ‘verboden gebieden’ gehanteerd, zodat ook in de verkeersdatabase de verschillende routes aanwezig zijn.

De verkeersroutes rond de windparken gebaseerd op de AIS data van 2012, worden weergegeven in Figuur 3-2. Deze weergave is gebaseerd op AIS van alleen de maand januari, en alleen voor routegebonden verkeer (bepaald op basis van het scheepstype, zie Tabel 3-2). De overige routes worden ook meegenomen in de berekeningen, maar wijken niet of nauwelijks af van eerdere verkeersdatabases voor aanleg van de parken. Intensiteiten daarvan worden wel op basis van AIS van 2012 bepaald.

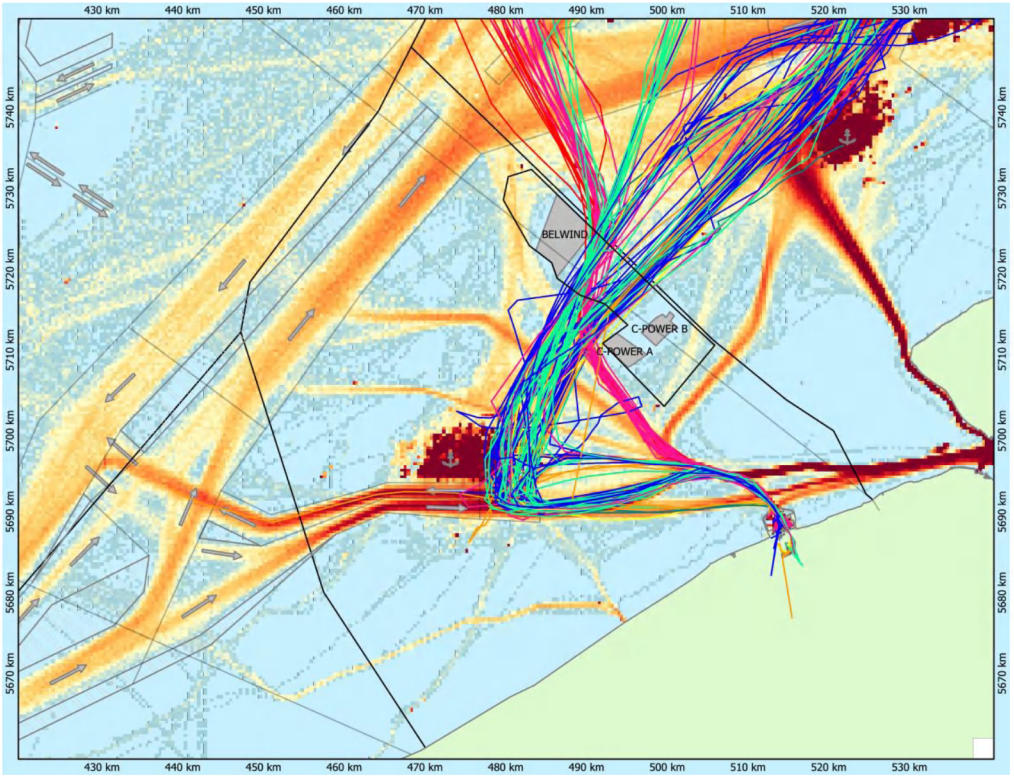


Figuur 3-2 ***Weergave van routes langs de windparken in januari 2012***

In Figuur 3-3 worden als voorbeeld enkele reizen van en naar Zeebrugge die tussen de windparken door lopen, getoond. De verschillende kleuren geven hierbij de verschillende toegewezen routes aan. In Figuur 3-4 worden dezelfde reizen getoond, maar daarbij is het kleuronderscheid gemaakt op basis van scheepstype. Hieruit blijkt dat de route van en naar Engeland wordt gedomineerd door een bepaald scheepstype (passagiersschip), en dat andere scheepstype anders van en naar Zeebrugge varen vanaf de windparken. Deze scheepstypen zullen dus ook mogelijk andere routes nemen op het moment dat de windpark strook gesloten wordt.



Figuur 3-3 *Verkeer van en naar Zeebrugge tussen de windparken Belwind en C-Power door, gekleurd per route*



Figuur 3-4 *Verkeer van en naar Zeebrugge tussen de windparken Belwind en C-Power door, gekleurd per scheepstype*

3.3.2 Gebruikte modellen

Het totale SAMSON-model bestaat uit verschillende submodellen voor de verschillende ongevallen. Om het effect van het windpark te kwantificeren op de locatie van het wind park wordt het aantal aanvaringen en aandrijvingen per jaar bepaald. Hiervoor worden de volgende modellen gebruikt:

- Contact met een vast object (windturbine)
  - als gevolg van een navigatie fout (ramming)
  - als gevolg van een motorstoring (drifting)

Om het effect van het windpark voor de scheepvaart buiten de windparklocatie te schatten, wordt het risiconiveau met en zonder het windpark vergeleken. Om het “algemene” risiconiveau vast te stellen worden de volgende modellen gebruikt:

- Schip-schip aanvaringen
- Contact met een platform
  - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
  - als gevolg van een motorstoring (drifting)
- Contact met een pier
  - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
  - als gevolg van een motorstoring (drifting)
- Stranden
  - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
  - als gevolg van een motorstoring (drifting)

3.4 Gevolgschade

Als gevolg van een aandrijving of een aanvaring van een windturbine kan schade ontstaan, zogenaamde gevolgschade. Deze schade bestaat uit schade aan de windturbine, schade aan het schip, milieuschade als gevolg van een uitstroom van olie bij schade aan een schip en persoonlijk letsel als gevolg van de aanvaring/aandrijving.

Van de schepen welke in aanvaring of aandrijving met het windpark komen is de verdeling bekend over de vaarsnelheden, vaarrichting, scheepstype en scheepsgroottes. Deze gegevens zijn voldoende om de energie welke maximaal aanwezig is in de botsing te bepalen. Deze energiemaat wordt gebruikt om deels op basis van ervaring deels op basis van complexe berekeningen de schade aan het schip te bepalen die in aanvaring met elkaar of een object komen. Uitgangspunt is dat de volledige energie gedissipeerd wordt in de botsing. De aanwezige energie in varende of driftende schepen is voor deze studie ook bepaald en gepresenteerd per scheepstype met de daarbij behorende kansen van optreden.

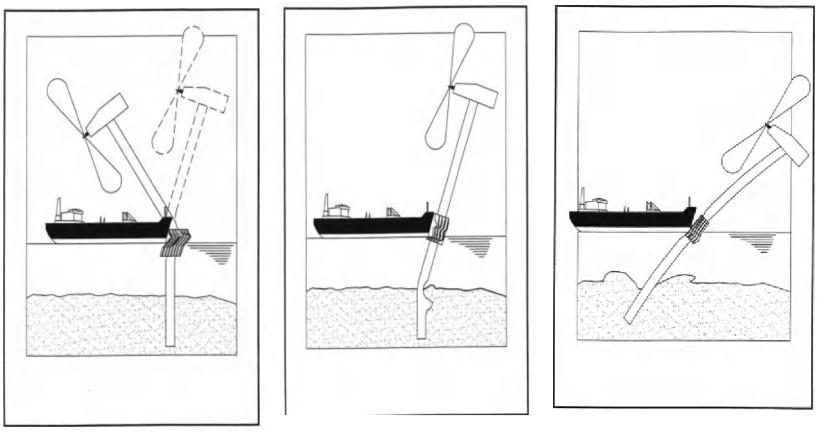
3.4.1 Schade aan windturbine en schip.

Voor de meeste scheepstypen is geen sprake van volledige dissipatie van de energie na een botsing vanwege de beperkte energieopname van het aangevaren object. Het bezwijkgedrag van de windturbines is onderzocht [3]. Hieruit bleek dat voor bijna alle scheepstypen de windturbine statisch gezien bezwijkt en daarbij slechts een fractie van de energie dissipeert. Voor de verdere analyse van de gevolgschade worden de volgende twee bezwijkvormen onderscheiden:

- **Knikken**; de windturbine bezwijkt door te knikken op het punt van impact, gevolgd door plastische vervorming, waarbij de mast blijft vast zitten. Ten slotte valt de turbine naar het schip toe of juist van het schip af. In het geval dat de

turbine richting het schip valt kan de rotor met de gondel op het dek terechtkomen.

- **Scharnieren;** de windturbine bezwijkt door het ontstaan van een plastisch scharnier bij de "bevestiging" op de bodem van de zee. De windturbine kan als gevolg van het ontstaan van dit scharnier afbreken of wordt in zijn geheel (inclusief bodem) omver geduwd. Het feitelijke scharnierpunt wordt dan verdeeld over de lengte in de bodem en is geen punt meer maar een deel van de mastfundering in de bodem die plastisch buigt en deels meegeeft.



Figuur 3-5 Figuren van de verschillende bezwijkvormen.

Welke van deze beide bezwijkvormen optreedt, is alleen op basis van een dynamische berekening vast te stellen. Experts hebben op basis van hun onderzoek de frequentie van voorkomen geschat voor de verschillende bezwijkvormen. Daar waar de effecten nog niet zijn in te schatten heeft men voor een conservatief standpunt gekozen. Zo kan de mast met gondel van het schip af of op het schip vallen. Wat in werkelijkheid gebeurt, hangt van veel constructiewaarden en omgevingsfactoren af. Voor de nu uitgevoerde berekeningen wordt aangenomen dat de mast met gondel altijd op het schip valt ingeval van knikken.

In Tabel 3-3 wordt een overzicht gegeven van verschillende bezwijkvormen als gevolg van een aanvaring of aandrijving van een windturbine per scheepsgrootte. Ook wordt in de tabel aangegeven wat de verwachte schade aan het schip zal zijn. Dit is de gevolgschadetabel die ook in [3] is gebruikt. Het bovenste deel van Tabel 3-3 geldt wanneer de turbine knikt. Kleine schepen hebben niet genoeg massa om de turbine te doen knikken. Pas vanaf een scheepsgrootte van 1000 GT kan dit optreden (kans 10%) en bij schampen treedt dit pas op bij 1600 GT. Bij aandrijven is de energie onvoldoende om de turbine te doen knikken.

Bij de frontale en de frontale/laterale (schampen) aanvaringen zal wel ernstige schade ontstaan aan de boeg van het schip, maar geen ernstige schade ("Geen" in Tabel 3-3) optreden in het ladinggedeelte van het schip. De constructie van het schip voor het aanvaringsschot (voorpiekschot) is zeer stijf waardoor de schade beperkt zal blijven tot het deel van het schip voor het aanvaringsschot waar lek raken geen uitstroom tot gevolg heeft omdat er geen lading of brandstof in dit deel van het schip aanwezig is. Bij het schampen zal het zeer stijve en uitwaaierende voordek van het schip de energie zonder veel schade opvangen. Wel kan er schade ontstaan aan het dek, in het geval de mast en/of gondel op het dek valt.

Bij aandrijving van een windturbine wordt geen milieuschade verwacht omdat de windturbine zodanig is opgebouwd dat er geen uitsteeksels zijn die de huid van het tegen de windturbine drijvende schip beschadigen.
Persoonlijk letsel en milieuschade is voor een aanvaring/aandrijving alleen te verwachten wanneer de gondel met mast op het schip valt ("Gosmos" in Tabel 3-3).
Wel komt er een zeer geringe hoeveelheid olie in het water van de windturbine zelf wanneer deze omvalt of bezwijkt. De verontreiniging bestaat uit 250 liter minerale olie (qua viscositeit en verdamping vergelijkbaar met de SAMSON-categorie ladingolie) en maximaal 100 liter dieselolie (qua viscositeit en verdamping vergelijkbaar met SAMSON-categorie bunkerolie).

Tabel 3-3 ***Bezwijkvormen met de geschatte percentages van voorkomen en de schatting van de resulterende schade aan de turbine en het schip.***

Bezwijk-vormen	Scheepsgrootte (GT)	Aanvaring (rammen)						Aandrijving (driften)					
		Frontaal (10%)			Schampen (90%)			Lateraal middenschips (100%)			Lateraal excentrisch (0%)		
		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging	
			Tur-bine	Schip		Tur-bine	Schip		Tur-bine	Schip		Tur-bine	Schip
Knikken	<500	0%	Nee	Geen	0%	Nee	Geen						
	500-1000	0%	Ja	Geen	0%	Nee	Geen						
	1000-1600	5%	Gos Mos [1]	Dek	0%	Ja	Geen						
	1600-10000	10%	Gos Mos	Dek	5%	Gos Mos	Dek						
	10000-30000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	30000-60000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	60000-100000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	>100000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
Schar-nieren	<500	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen
	500-1000	100%	Ja	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen
	1000-1600	95%	Ja	Geen	100%	Ja	Geen	100%	Nee	Huid	100%	Nee	Geen
	1600-10000	90%	Ja	Geen	95%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Nee	Geen
	10000-30000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	30000-60000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	60000-100000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	>100000	90%	Ja	Geen	91%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen

3.4.2 Bepalen van persoonlijk letsel

Voor de windturbines zijn de frequenties van de verschillende schadevormen bepaald, waaruit de mogelijk optredende milieuschade in termen van persoonlijk letsel en milieuschade is bepaald. Hierbij is uitgegaan van een aantal worst case benaderingen.

Uitgaande van het aantal aanvaringen/aandrijvingen zijn de volgende rekenslagen per scheepstype en grootte gemaakt.

[1] GosMos = Gondel Op Schip en Mast Op Schip na plastische vervorming

- Aantal aanvaringen/aandrijvingen wordt vermenigvuldigd met de bijbehorende kans op een bepaalde bezwijkvorm.
- Vermenigvuldiging met de kans voor die bezwijkvorm dat de gondel met mast op het schip valt ("Gosmos" in de Tabel 3-3). Aangezien niet bekend is wat de kans is dat de mast op het schip valt, dan wel van het schip af valt wordt hier met een factor 1 gerekend, dus met het worst case scenario dat de mast altijd op het schip valt.
- Vermenigvuldiging met het beschadigingsgedeelte van het dek. Hierin zitten twee worst case benaderingen, namelijk;
    - De mast valt geheel op het schip. Bij het schampen zal echter de mast vaak schuin over het dek kantelen en hierbij slechts geringe schade aanrichten.
    - Het oppervlak van de mast inclusief het volledige rotorblad wordt genomen, dus alsof de windturbine al draaiend intact op het dek valt.
- Vermenigvuldiging met de kans dat iemand zich bevindt op het beschadigde gedeelte. De kans dat een persoon zich ergens aan dek bevindt wordt op 10% geschat. In werkelijkheid is deze kans veel kleiner, aangezien vrijwel alleen bij vissersschepen bemanning aan dek te vinden is, maar deze groep zit vrijwel niet in de groep schepen die de mast doet knikken. Deze 10% bevat ook de mensen die indirect worden getroffen door het doorwerken van de dekschade tot de ruimtes daaronder waarin personen aanwezig zijn.
- Vermenigvuldiging met het aantal personen aan boord, immers de kans is voor ieder persoon afzonderlijk bepaald.

Het persoonlijk letsel doordat mensen vallen door de klap zelf is niet gemodelleerd, ook niet voor de kleine schepen die frontaal tegen de bescherming van de mast varen waarbij het schip (recreatievaartuig) volledig vernield wordt. Voor deze categorie schepen zijn de kansmodellen ook onbetrouwbaar. Bovendien zullen deze schepen vrijwel altijd schampen.

3.5 Effecten voor de scheepvaart

Het gebied van het windpark indien het eenmaal gebouwd is, vormt een "verboden" gebied voor alle scheepvaart (met uitzondering van reparatie/onderhoudsvaartuigen). Het is dus goed mogelijk dat schepen een andere route moeten volgen dan voor de bouw van het windpark (vergelijk Figuur 4-1 en Figuur 4-2 met Figuur 4-3 en Figuur 4-4). Hierdoor verandert het verkeersbeeld rond het windpark. Het aantal afgelegde scheepsmijlen kan door de aanwezigheid van het windpark toenemen. Een toename brengt extra kosten met zich mee en zal bovendien leiden tot een extra uitstoot van CO2.

De toename van de afgelegde scheepsmijlen, de extra kosten en de CO2 uitstoot worden berekend door de resultaten voor de situatie met het windpark te vergelijken met de situatie zonder windpark, de zogenaamde autonome situatie. De autonome situatie is hier de verkeersafwikkeling met alleen windparken Norther, C-Power, Northwind en Belwind (zie Hoofdstuk 4).

Omdat de windparken aan de rand van de Belgische Noordzee liggen, beperken de scheepsroutewijzigingen zich niet alleen tot de Belgische Noordzee. Ook op het Nederlandse deel zullen enkele routes verschuiven. De toename van afgelegde scheepsmijlen, kosten en CO2 uitstoot worden echter alleen voor de Belgische Noordzee berekend. Voor het berekenen van deze effecten voor het Nederlandse deel

zou de volledige verkeersdatabase voor dit deel ook aangepast moeten worden van 2008 naar 2012, terwijl de effecten slechts een relatief klein gedeelte tegen de Belgische grens betreffen.

In de POLSSS (POLicy for Sea Shipping Safety) studie [2] voor het Directoraat-Generaal Goederenvervoer (DGG) is gebruik gemaakt van een scorekaart voor het weergeven van effecten voor de scheepvaart van maatregelen. De aanwezigheid van het windpark heeft invloed op de verkeersafwikkeling en heeft daardoor effect op de veiligheid voor de scheepvaart. Vanuit de POLSSS-scorekaart is de windpark-scorekaart afgeleid door een aantal (voor het windpark) nauwelijks ter zake doende items te verwijderen.

Scorekaart
De resultaten voor de situatie met een windpark worden steeds vergeleken met de nulsituatie voor het windpark, zijnde de situatie zonder windparken.

Voor ieder item van de scorekaart wordt het totaal resultaat voor zowel de Belgische als de Nederlandse Noordzee gegeven voor de situatie met het windpark. Van ieder item wordt ook het **effect van het windpark** bepaald, dus het resultaat van de situatie met het windpark minus de situatie zonder windpark. Om een idee te vormen van wat het *effect van het windpark* betekent, wordt de procentuele verandering van de situatie met het windpark ten opzichte van de autonome situatie gegeven.

De scorekaart bevat de volgende items:

Algemeen:
Per scheepstype wordt het gemiddeld aantal aanwezige schepen op de Belgische danwel Nederlandse Noordzee gegeven. Omdat de mogelijkheid bestaat dat schepen moeten “omvaren” door de aanwezigheid van het windpark, betekent dit dat het schip “langer” op zee is en dus het gemiddeld aantal aanwezige schepen toeneemt.

Veiligheid:
- Het aantal schepen (routegebonden en niet-routegebonden) dat per jaar betrokken is bij een aanvaring tussen schepen.
- Het aantal strandingen per jaar als gevolg van een navigatiefout
- Het aantal strandingen per jaar als gevolg van een motorstoring (driften)
- Het aantal schepen dat gemiddeld per jaar zinkt
- Het verwachte aantal incidenten per jaar dat er door externe omstandigheden een gat in de huid ontstaat, waardoor bijvoorbeeld olie in zee kan stromen
- Het totaal aantal ongevallen per jaar

Economisch effect:
Door de aanwezigheid van het windpark kan het zijn dat schepen moeten “omvaren”, dit brengt extra kosten met zich mee. Als economisch effect van het windpark worden de totale kosten voor alle afgelegde zeemijlen per jaar gegeven.

3.6 Cumulatieve effect

Naast het windpark beschreven in dit rapport wordt een aantal andere windparken gebouwd op het Belgisch Deel van de Noordzee. Het cumulatieve effect van deze windparken op de verkeersveiligheid wordt naast de bijdrage van het onderhavige park inzichtelijk gemaakt. De windturbines van de op dit moment meest waarschijnlijke realisatie voor een park zijn als vaste objecten meegenomen in de configuraties. In Hoofdstuk 4 wordt bij de beschrijving van deze configuraties aangegeven welke windparken als gerealiseerd worden beschouwd.
Voor het bepalen van de cumulatieve effecten op de scheepvaartveiligheid van een aantal windparken samen is het eigenlijk nodig dat de inrichtingen van alle windparken, die hierin meegenomen worden, bekend zijn. De definitieve inrichting van andere windparken is echter nog niet altijd bekend. Daarom wordt in zulke gevallen uitgegaan van de meest waarschijnlijke inrichtingsvariant.
Uitgaande van deze inrichtingsvarianten is een verkeersdatabase gemaakt waarbij de gebieden voor de windparken zijn vrijgehouden voor het routegebonden verkeer.

Het cumulatieve effect van de gezamenlijke windparken wordt inzichtelijk gemaakt door het aantal aanvaringen en aandrijvingen en de kans op uitstroom voor het windpark in het cumulatieve scenario te vergelijken met de resultaten in het scenario met het windpark individueel. Het is voldoende om deze vergelijking voor slechts één van de in deze studie onderzochte inrichtingsvarianten te maken. Hiervoor is de worst case scenario gekozen met de meeste windturbines voor ieder windpark.

3.7 Kruisende scheepvaart

Schepen die elkaar naderen met kruisende koersen dienen tijdig vast te kunnen stellen of er gevaar voor aanvaring bestaat en dienen voldoende mogelijkheden c.q. ruimte te hebben om een mogelijke aanvaring te voorkomen. Daartoe dient men goed zicht op elkaar te hebben, zowel visueel als via de radar. Windturbineparken belemmeren dit zicht. Zowel visueel (windturbines blokkeren zicht op de navigatielichten van het schip) als op de radar (afscherming, valse echo's, windturbines geven o.a. dikke echo's op het scherm). Dit geldt zeer zeker waar zich vele windturbines tussen de beide schepen bevinden, en in mindere mate waar zich enkele windturbines tussen beide schepen bevinden. Echter, op het punt dat zich nog maar enkele windturbines tussen beide schepen bevinden, kunnen de schepen elkaar al dicht genaderd zijn. De "Bepalingen ter voorkoming van aanvaring op zee", (artikel 8) eisen dat men tijdig en duidelijk actie neemt op basis van betrouwbare informatie.
In dit hoofdstuk wordt nagegaan in hoeverre het mogelijk is om tijdelijk actie te nemen op basis van betrouwbare informatie.

Om meer inzicht in de problematiek te verkrijgen is een windpark gebouwd (gemodelleerd) in het buitenbeeld van de full scale manoeuvreersimulator van het MARIN. In dit beeld zijn steeds twee kruisende schepen gemodelleerd. De navigator bestuurt het schip dat aan de westkant van het park van zuid naar noord vaart en een "collision avoidance manoeuvre" moet uitvoeren voor het andere schip, dat aan de noordkant van het park van oost naar west vaart (zie Figuur 3-8). De simulatorrun is zo samengesteld dat wanneer beide schepen niets zouden doen er een aanvaring zal plaatsvinden. Dit snijpunt van de kruisende koerslijnen wordt verder 'kruispunt' genoemd. De navigator heeft alle navigatiemiddelen (met uitzondering van AIS) ter beschikking. Het windpark en de verstoring van het windpark op achterliggende objecten, zijn gemodelleerd. De vraag is of de navigator in staat is om het andere kleine

(om het probleem te vergroten) schip vroegtijdig te signaleren, de koers en snelheid van dit schip te bepalen en eventueel een manoeuvre in te zetten om de aanvaring te voorkomen.

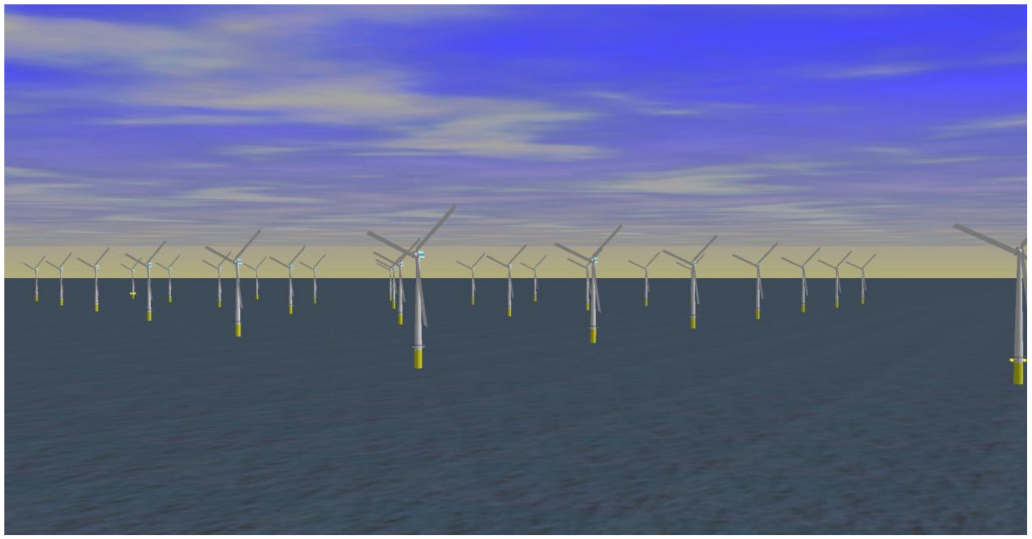
Er is specifiek voor dit “worst case” scenario gekozen omdat een schip in de ontmoetingssituatie, om een aanvaring te voorkomen, in eerste instantie naar stuurboord zal uitwijken. Hier doet zich dan een probleem voor omdat het windpark zich aan deze kant bevindt. Figuur 3-6 en Figuur 3-7 zijn twee opnames van wat men kan zien vanaf de brug van het eigen schip. Het eigen schip is het schip waarvoor in de simulator het buitenbeeld wordt geprojecteerd en dat bedienbaar is. In Figuur 3-6 is nog geen tweede schip te zien en in Figuur 3-7 is het tweede schip wel aanwezig. Het feit dat het tweede schip slecht te zien is, komt meer door de foto dan door de verstoring van de windturbines.

Voor dit scenario zijn de volgende parameters gevarieerd:

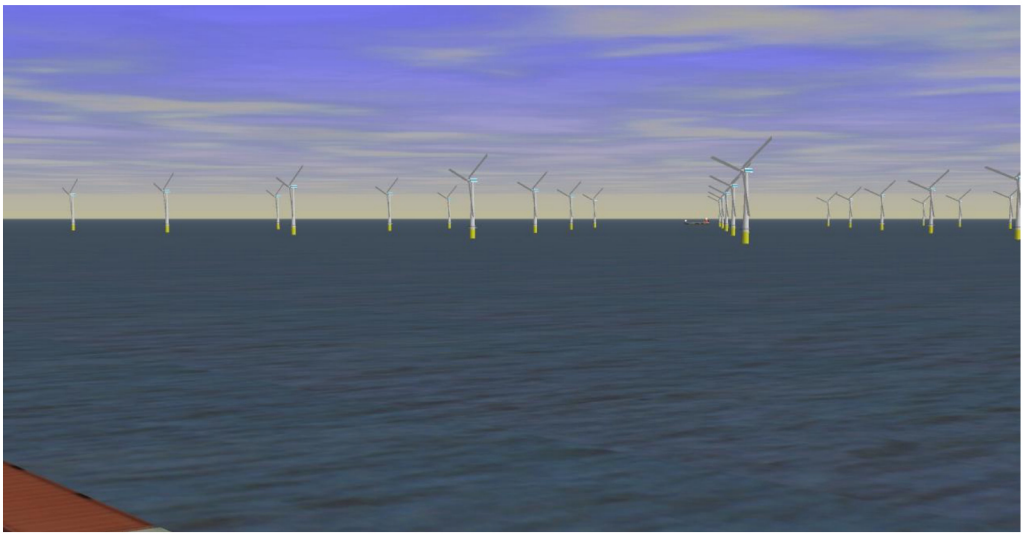
- Dag en nacht;
- Configuratie van het windpark;
- Afstand tot het windpark.

Op de simulator zijn drie windparken gemodelleerd:

1. een windpark met de windturbines op de hoekpunten van vierkanten;
2. een windpark met een versprongen opstelling;
3. een windpark zoals in de eerste optie, maar dan met een scherpe punt van 45°.



Figuur 3-6 Windpark gezien vanaf het eigen schip



Figuur 3-7 Windpark gezien vanaf het schip met een klein schip in het buitenbeeld

De runs zijn uitgevoerd voor een passageafstand van 500 meter en 1000 meter voor beide schepen. In de vele runs die uitgevoerd zijn op de simulator, kon het schip steeds tijdig gesignaleerd worden, zowel visueel als op de radar. Dit geeft echter geen garantie voor de praktijk. In de praktijk kunnen er meer schepen varen die de uitwijkmanoeuvre kunnen bemoeilijken. Op de simulator is bekend dat er een schip achter het windpark vaart, waardoor men beter oplet en eerder reageert dan in de praktijk. Verder dient wel opgemerkt te worden dat, hoewel de wettige passeerafstand 500 meter is, men in de praktijk op grotere afstand langs het windpark zal varen, juist om ervoor te zorgen dat men naar stuurboord kan uitwijken. ("Preparedness" is een belangrijke eigenschap voor goed zeemansschap). Dit zal zeker worden gedaan door moeilijk manoeuvreerbare schepen. Bovendien komt de situatie zoals hier beschreven lang niet bij ieder windpark voor. Bij veel parken zorgt de normale scheepsafwikkeling, gegeven de herkomst en bestemming, vaak voor grotere afstanden tot het windpark dan de 500 en 1000 m die in de simulatorruns zijn gebruikt. Op de specifieke aspecten voor een windpark wordt in hoofdstuk 4 ingegaan.

Met behulp van een simulatorstudie kunnen kwalitatieve uitspraken worden gedaan, maar is het onmogelijk om een bepaald risico te kwantificeren. De simulatorstudie heeft aangetoond dat de verstoring van het zicht en het radarbeeld niet zo groot is dat dit direct tot onoverkomelijke problemen zal leiden.

Als vervolg op de simulatorstudie is gezocht naar een methode om de mate van zicht en radarverstoring op een andere manier te kwantificeren. Met andere woorden, een methode waarmee in ieder geval de grootteorde van het probleem kan worden gekwantificeerd, die gebruikt kan worden om verschillende windparken onderling op doorzichtbaarheid te vergelijken. De methode is opgezet voor zichtlijnen, maar het resultaat hiervan geldt tevens voor de radar. Met de radar kan zelfs iets achter het object worden gekeken, maar een radar heeft als nadeel dat er meer verstoringen optreden.
In dit hoofdstuk worden vier generieke configuraties van het windpark beschouwd. In hoofdstuk 4 worden voor de opstellingen van het eigen windpark dezelfde figuren gemaakt.

Het presenteren van het zicht, of eigenlijk de ondoorzichtbaarheid, is lastig. Wanneer men nog op grote afstand van het ontmoetingspunt zit, is men niet geïnteresseerd in de

schepen die al vlakbij het kruispunt varen, omdat deze allang gepasseerd zijn op het tijdstip dat het eigen schip het kruispunt passeert. Evenzo is men vlakbij het kruispunt niet geïnteresseerd in schepen op grote afstand. Deze constatering is belangrijk bij het kwantificeren van de (on)doorzichtbaarheid. Dit betekent dat vooral doorzichtbaarheid is gewenst in het gebied dat zich op dezelfde afstand van het kruispunt bevindt. Natuurlijk is dit weer niet precies die afstand omdat de snelheden van beide schepen verschillen, maar over het algemeen kan worden gezegd dat dit het belangrijkste gebied is.

De berekeningen in dit generieke stuk zijn gemaakt voor vier opstellingen zoals weergegeven in Figuur 3-8, Figuur 3-9, Figuur 3-10 en Figuur 3-11, welke als representatief beschouwd kunnen worden voor een windpark met 3 MW windturbines. Het effect van de opstelling is nagegaan voor deze opstellingen waarbij de kruisende schepen op een afstand van 500 m van het windpark varen.

Niet de doorzichtbaarheid is weergegeven maar juist de ondoorzichtbaarheid is weergegeven, omdat dit beter aangeeft of een schip door het windpark heen gezien kan worden. De ondoorzichtbaarheid kan aangegeven worden in het aantal schaduwstukken van een zekere lengte. Een schip van 40 m kan altijd geheel of gedeeltelijk gezien worden wanneer de schaduwgrootte kleiner dan 40 m blijft en kan dus soms wegvallen bij grotere schaduwstukken. De schaduwstukken bewegen met het schip mee. Een schip zal daarom nooit constant in de schaduw blijven, maar het is duidelijk dat de kans om niet gezien te worden toeneemt met het aantal schaduwstukken, en groter wordt wanneer de schaduwstukken groter worden. Daarom is onderzocht hoe de frequentie van de schaduwstukken groter dan een bepaalde lengte verloopt. Voor de vier opstellingen zijn de schaduwstukken berekend, in stapjes van 0.1 nm op de aanvaarroute (van zuid naar noord) waarvan de resultaten worden getoond in Figuur 3-12 en in Figuur 3-13. Boven de plaatjes staat steeds wat wordt afgebeeld (y-as) als functie van de nog af te leggen weg van het schip tot aan het kruispunt (x-as, zie onderste plaatje). Deze figuren tonen het aantal schaduwstukken groter dan 10 m voor een bepaalde afstand x van het kruispunt voor het eigen schip op de vaarlijn van het andere schip op een even groot traject van x vanaf het kruispunt. Deze zelfde afstand x, waarvoor de schaduw bepaald wordt, is gekozen omdat de schaduwstukken op grote afstand niet meer belangrijk zijn wanneer het schip het kruispunt nadert. Wanneer de figuren doorlopen worden, dan kan voor een afstand op 4 nm van het ontmoetingspunt gezegd worden, dat het traject van het ander schip van 0 tot 4 nm voor het kruispunt:

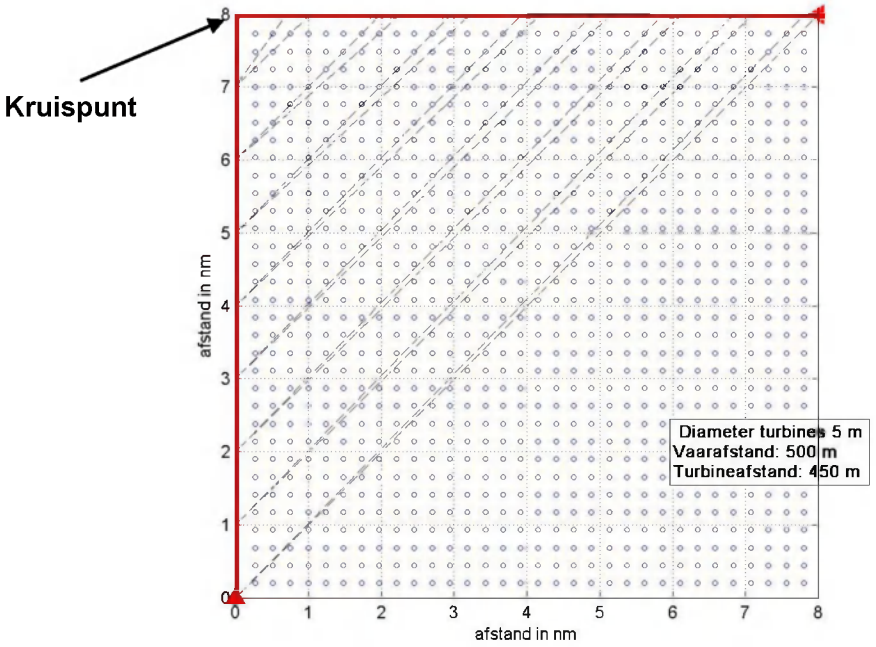
- 40 schaduwstukken groter dan 10 m bevat;
- waarvan 10 schaduwstukken groter dan 20 m;
- waarvan 5 groter dan 30 m;
- waarvan 2 groter dan 40 m;
- een enkele schaduw groter dan 50 m;
- en de maximale schaduw ongeveer 70 m bedraagt.

De schaduwgroottes zijn berekend in stapjes van 0.1 nm op de aanvaarroute (van zuid naar noord). Het springen in de grafieken wordt veroorzaakt door deze discretisatie. Er kan geconcludeerd worden dat vanaf 4 nm voor het kruispunt schaduwen groter dan 50 m praktisch niet voorkomen. Ook het aantal schaduwen groter dan 40 m en groter dan 30 m blijft beperkt. Gezien ook nog de wisselingen in de posities van de schaduwen kan geconcludeerd worden dat een oplettende uitkijk ook een klein schip op tijd kan waarnemen. Er is zeker geen sprake van een blokkade van het zicht door het windpark vanaf deze afstand.
De figuren tonen dat er geen groot verschil is in de doorzichtbaarheid van de hier beschouwde opstellingen voor de windparken.

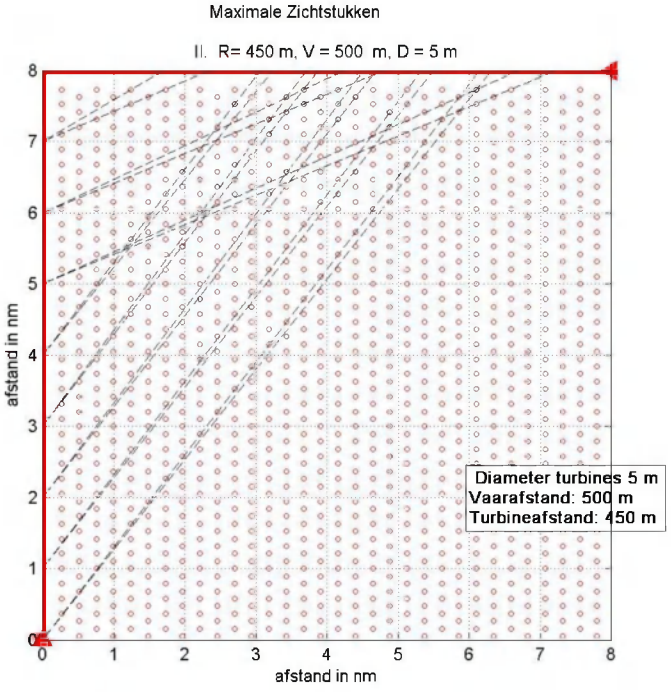
De doorzichtbaarheid verandert als de afstand tot het windpark groter wordt en ook wanneer de afstand tussen de windturbines anders wordt. Om dit te onderzoeken zijn er nog drie opstellingen met elkaar vergeleken, maar dan alleen voor de eerste opstelling met de windturbines in een vierkant. De eerste opstelling in Figuur 3-14 is gelijk aan die van Figuur 3-8. Figuur 3-15 bevat dezelfde opstelling maar dan voor een vaarafstand van 1000 m en Figuur 3-16 toont de opstelling die representatief is voor een windpark met 5 MW turbines met een afstand van 580 m en een diameter van 6 m. De plaatjes met de schaduwlengtes worden gegeven in Figuur 3-17 en Figuur 3-18. Hieruit is duidelijk te halen dat de rode lijn het beste is met de minste schaduwstukken, dus dat de vaarafstand een belangrijke factor is. De groene lijn ligt ook meestal onder de blauwe lijn, wat betekent dat een windpark met 5 MW turbines beter is dan een 3 MW park maar dat door de toegenomen diameter een deel van het voordeel wordt weggenomen. Ook leidt de toegenomen diameter tot een iets grotere maximale schaduw.

Conclusie
Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

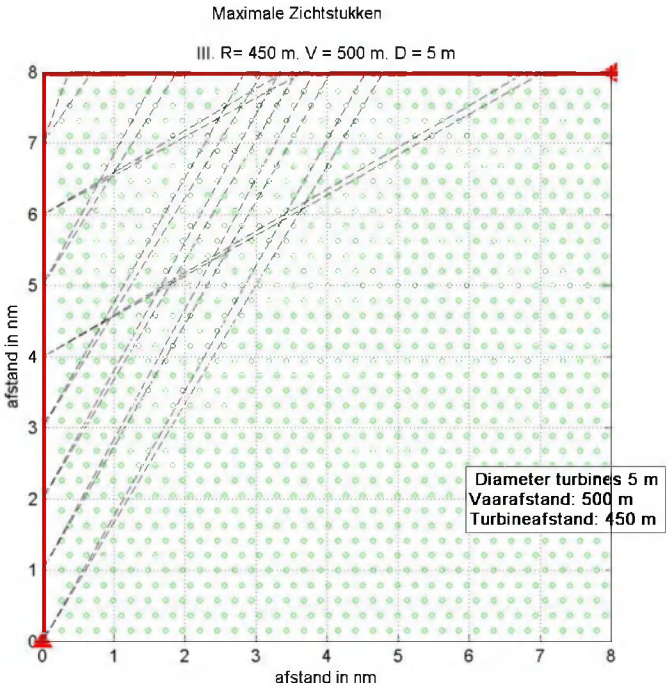
- De ondoorzichtbaarheid van een windpark is niet erg gevoelig voor de opstelling van de windturbines, mits regelmatig opgesteld in rijen, de versprongen opstelling heeft wel als voordeel dat er meer turbines op dezelfde oppervlakte kunnen worden geplaatst;
- De ondoorzichtbaarheid wordt bij langs varen kleiner wanneer de afstand tot het park groter wordt;
- De ondoorzichtbaarheid van een windpark met 5 MW turbines is iets minder groot, maar het voordeel van de grotere afstand tussen de windturbines wordt deels tenietgedaan door de grotere diameter van de windturbine.



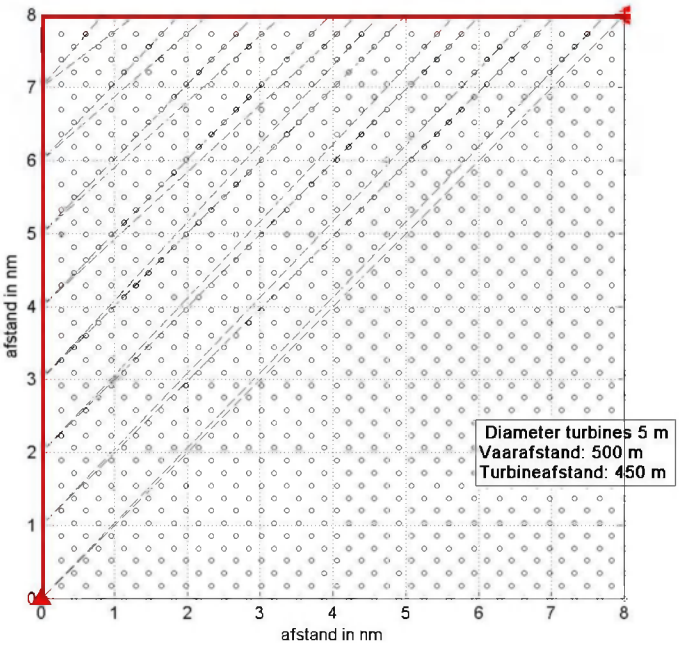
Figuur 3-8 *Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks (I)*



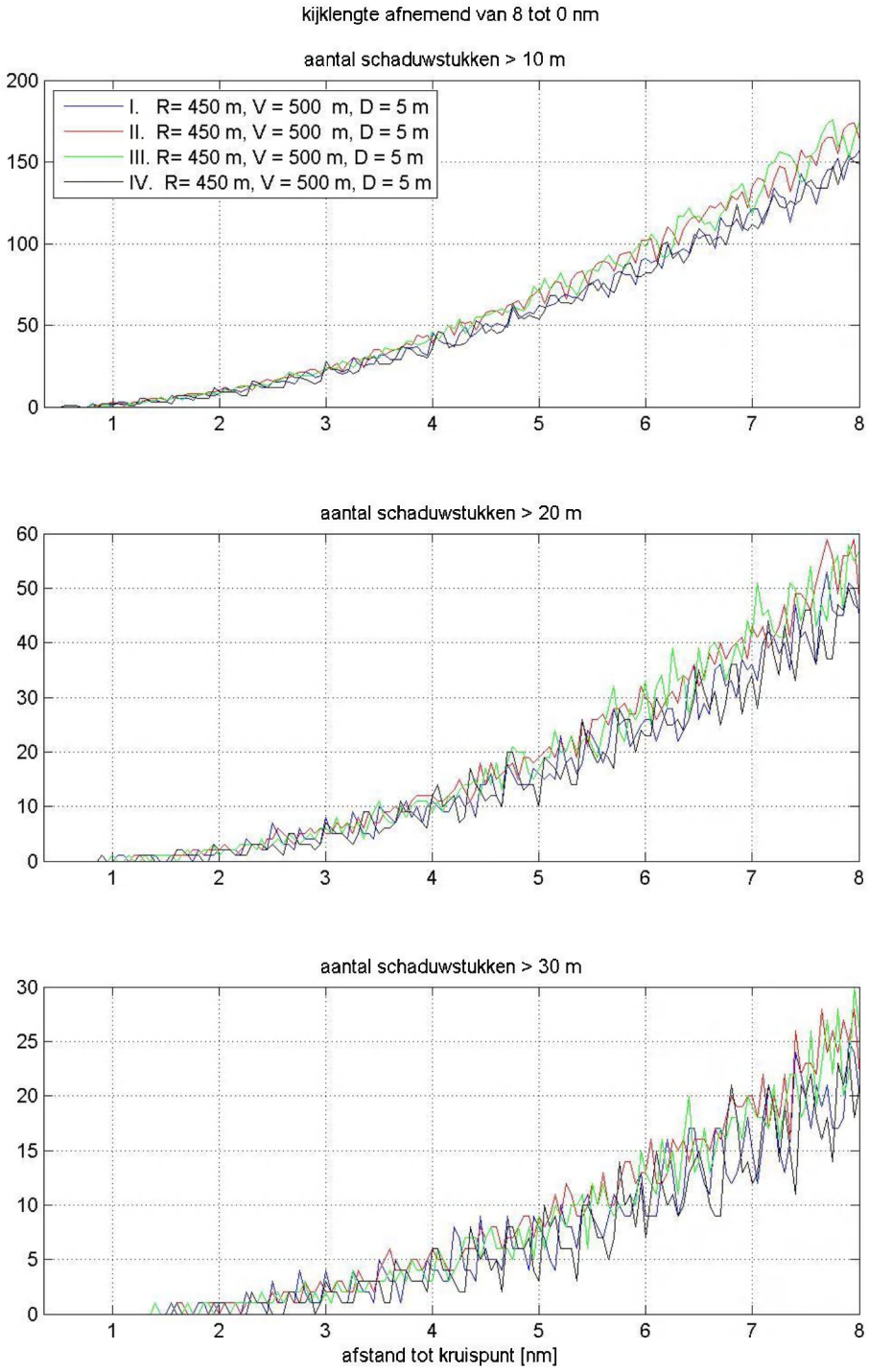
Figuur 3-9 *Opstelling windturbines in dichte opstelling versprongen (II)*



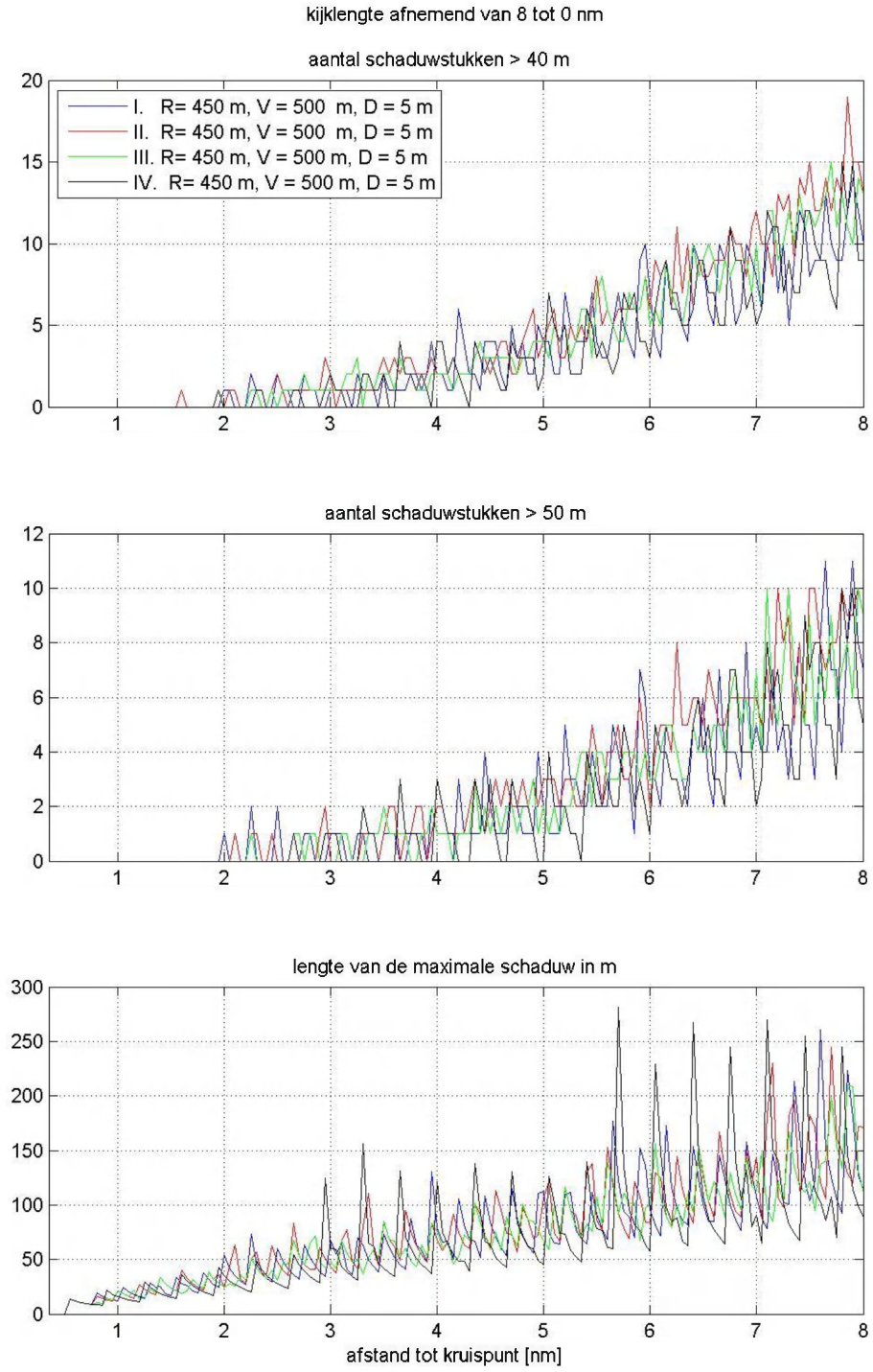
Figuur 3-10 Opstelling versprongen maar net als II maar 90° gedraaid (III)



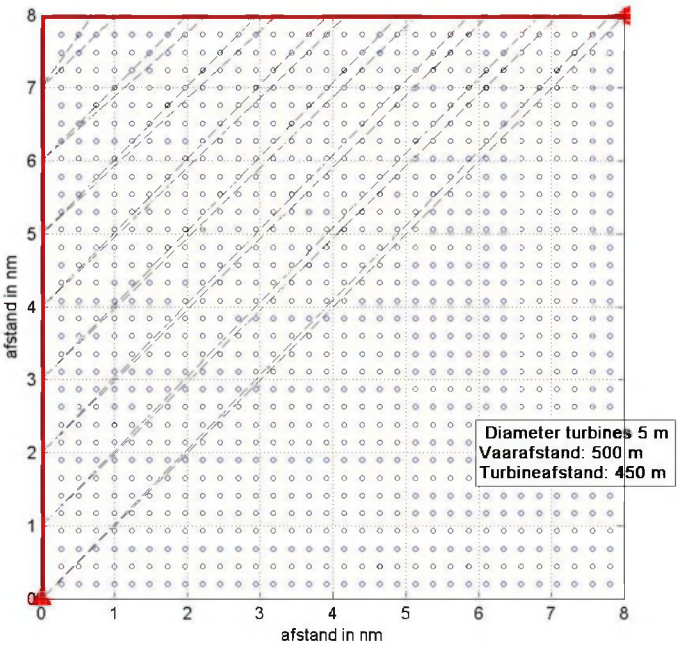
Figuur 3-11 Opstelling vierkant als I maar dan 45° gedraaid (IV)



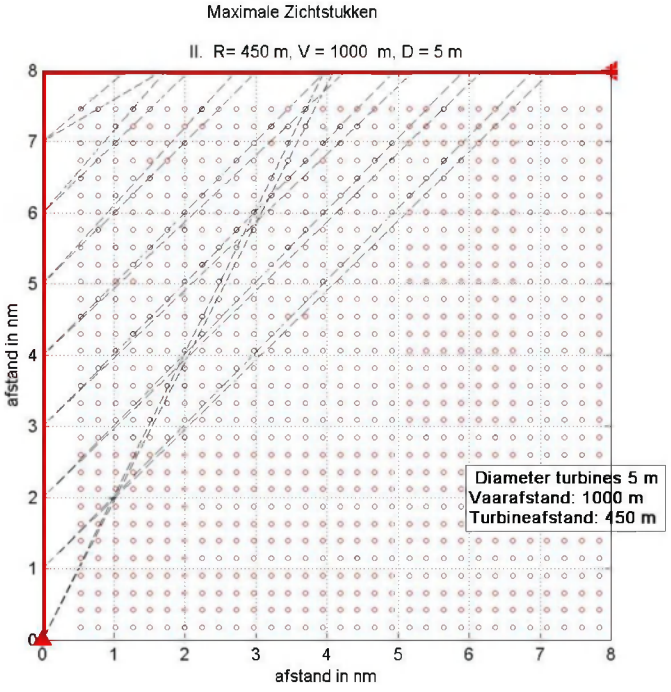
Figuur 3-12 Schaduwstukken > 10 m, > 20 m en > 30 m



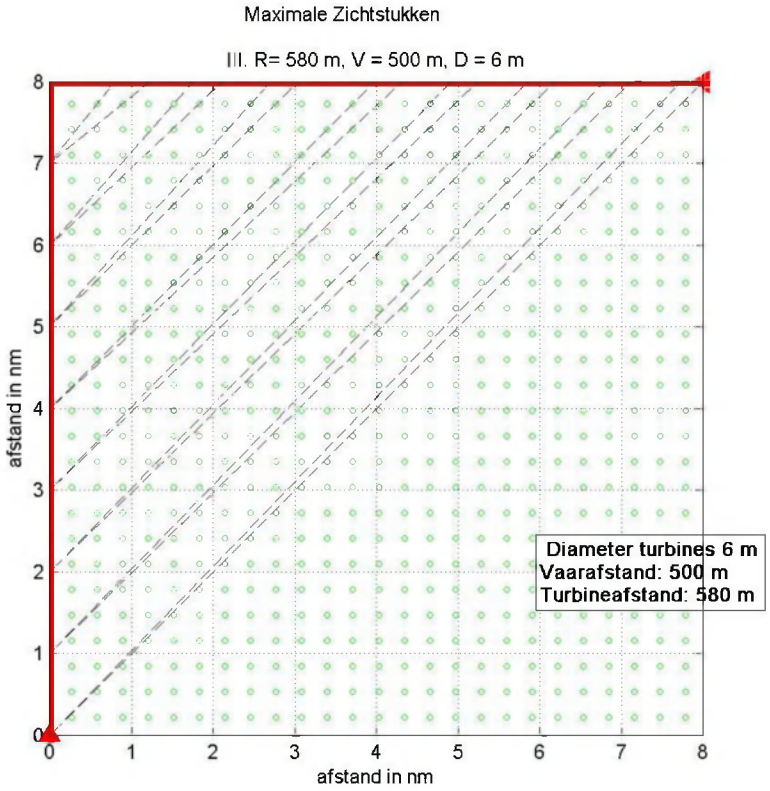
Figuur 3-13 ***Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk***



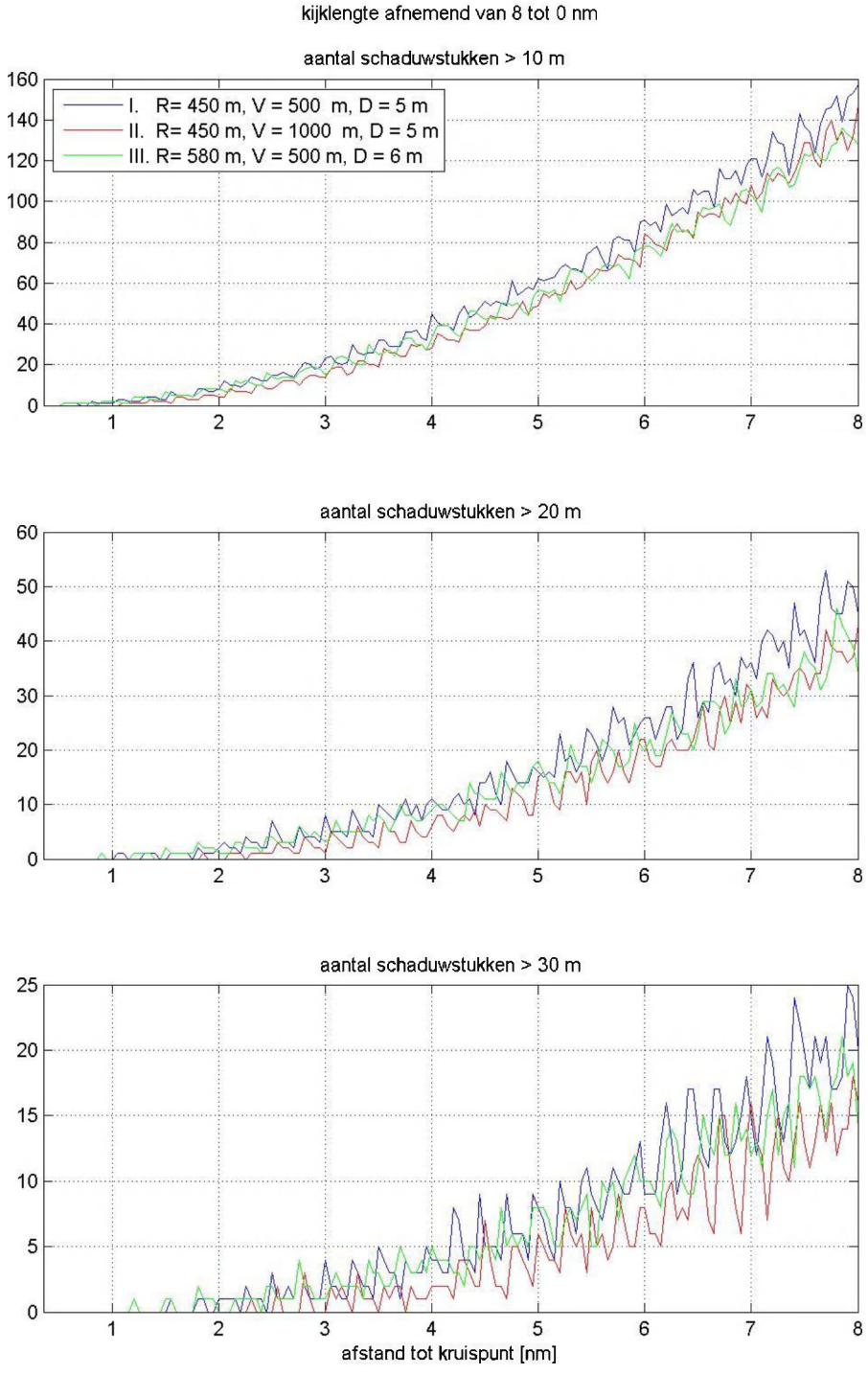
Figuur 3-14 ***Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 500 m***



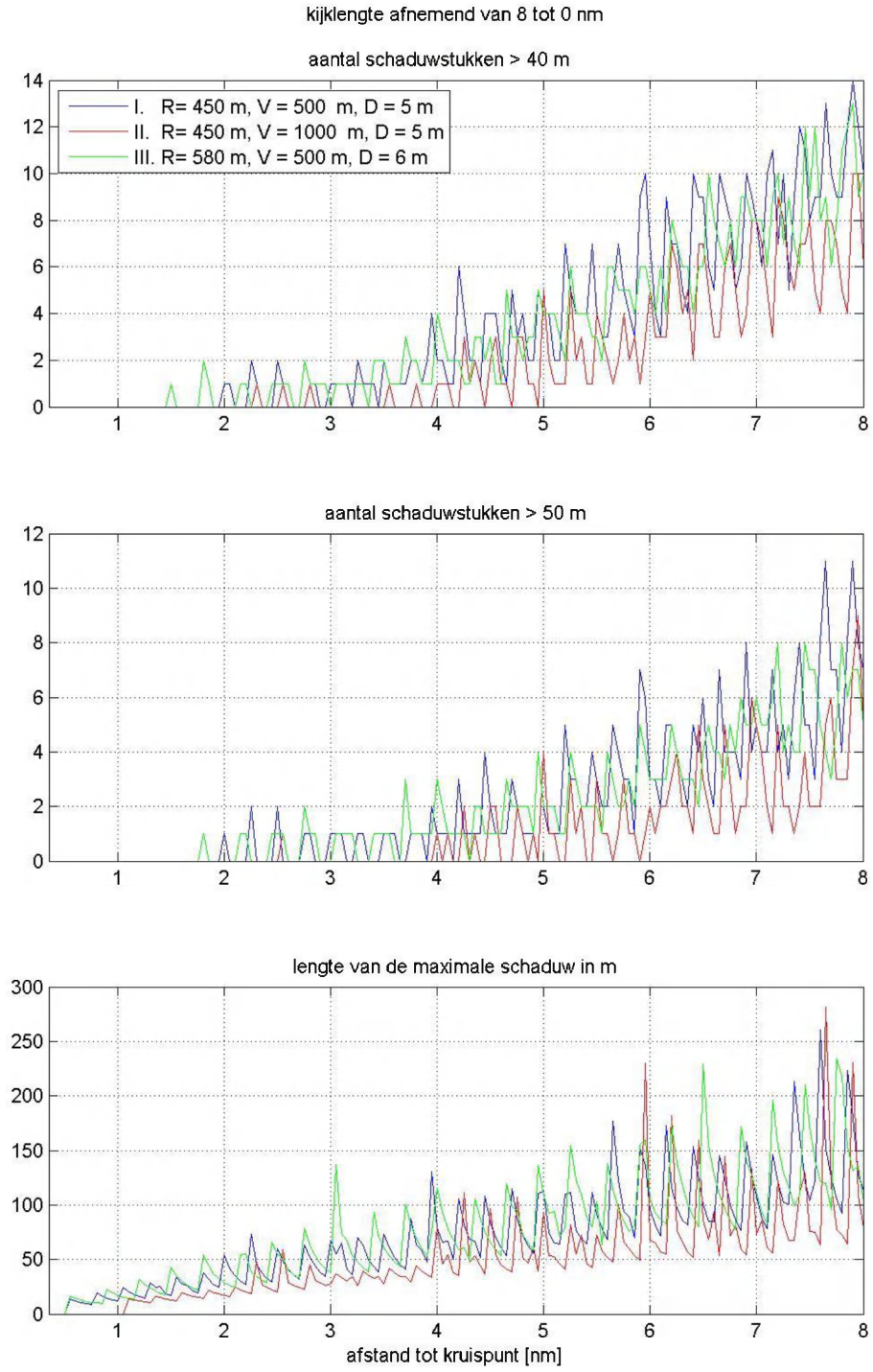
Figuur 3-15 ***Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 1000 m***



Figuur 3-16 ***Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, afstand tussen turbines 580 m en vaarafstand 500 m***



Figuur 3-17 ***Schaduw > 10 m, > 20 m en > 30 m lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse***

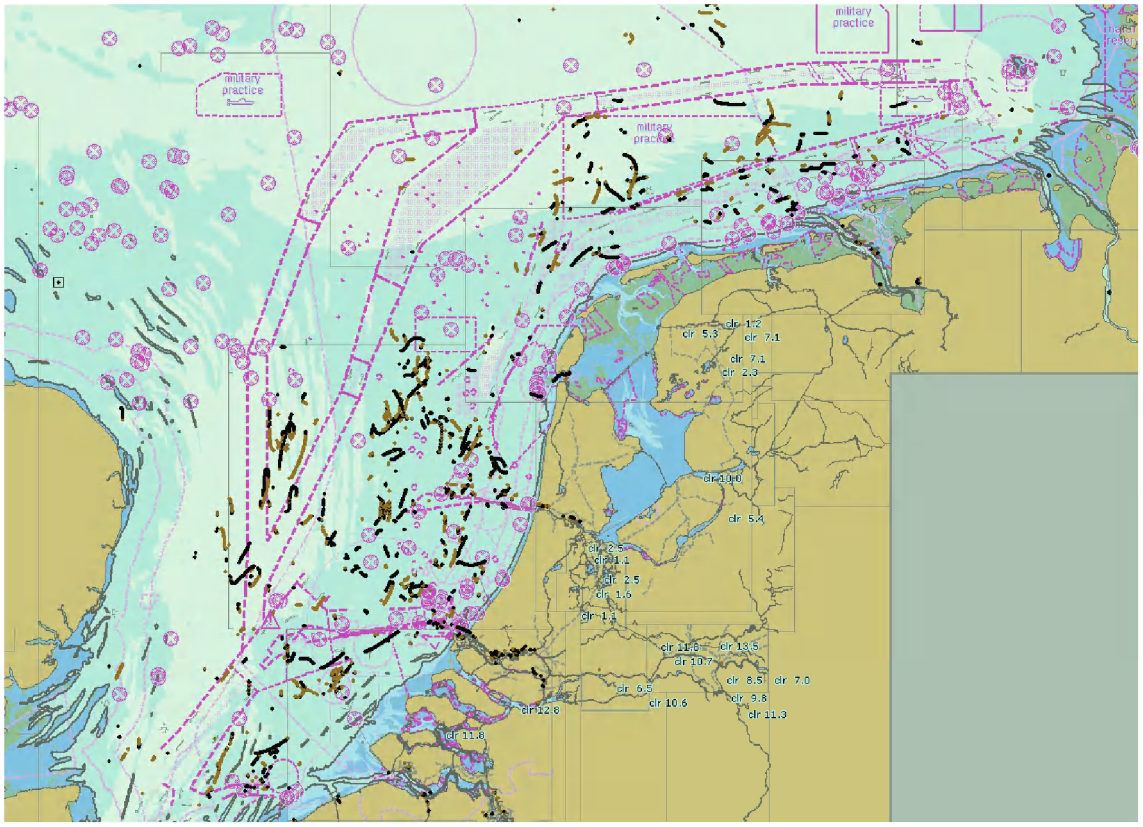


Figuur 3-18 ***Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse***

3.8 Tijdelijk onmanoeuvreerbare schepen

MARIN heeft een studie uitgevoerd voor DGTL naar het aantal drifters op de Noordzee. Hierin valt een analyse van de AIS–data van de kustwacht van 1 maart 2005 – 31 december 2005. Deze dataset bevat alle vaarbewegingen van de schepen met AIS aan boord, die zijn ontvangen door de AIS-basestations langs de Nederlandse kust. Deze set dekt een strook langs de Nederlandse kust. De records zijn onderzocht op de navigatiestatus “Not under command” (verder aangeduid met NUC-records), wat wil zeggen dat ze op dat moment niet in staat zijn om de normale uitwijkregels in acht te nemen. Alle drifters zouden dat moeten uitzenden. De dataset is niet volmaakt, mede door het feit dat de navigatie status handmatig ingevoerd moet worden in de AIS-transponder, daarom zijn er een aantal filters toegepast om de waarschijnlijke drifters over te houden. In Figuur 3-19 zijn de waarschijnlijke drifters geplot. De zwarte lijnen geven een koers over de grond tussen 0º en 180º aan en de bruine lijnen een koers groter dan 180º.

De data van 10 maanden is ook geanalyseerd om na te gaan of er een verhoogde kans is op een drifter nabij de haven en wat de orde van grootte van deze extra kans is. In dit rapport wordt niet in detail op deze analyse ingegaan maar worden de resultaten van de analyse voor wat betreft de onmanoeuvreerbare schepen nabij havens gepresenteerd.



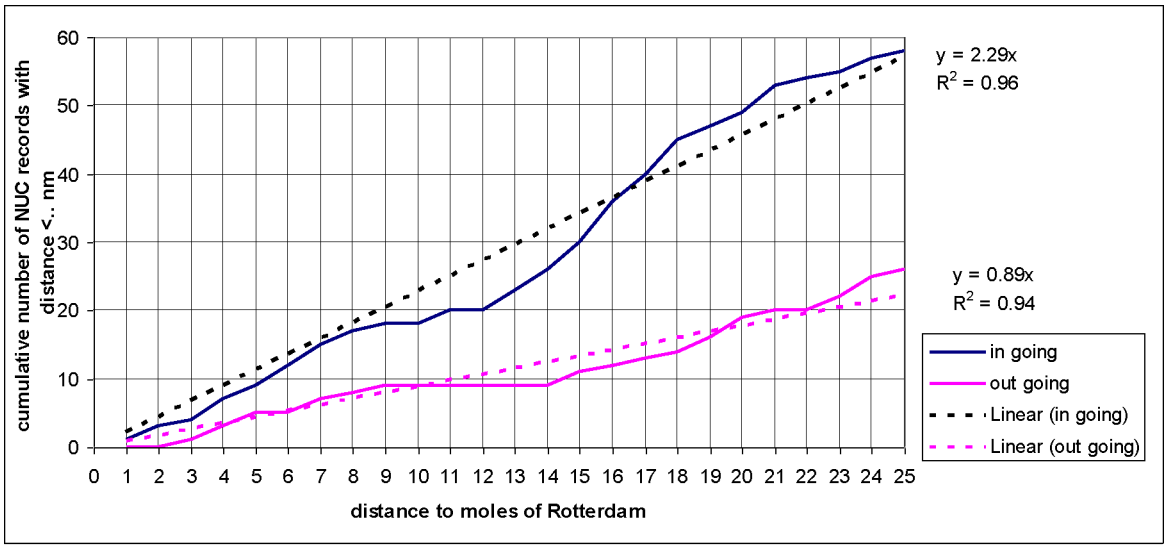
Figuur 3-19 ***NUC-records met snelheid over de grond < 6 knopen en drifthoek > 30° (maart -december 2005)***

Figuur 3-19 laat zien dat bij het inkomende verkeer door Maas West meer storingen voorkomen dan bij het uitgaande verkeer door Maas West. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het overgaan van zeebedrijf naar havenbedrijf, waarbij de kans op een storing groter is, maar ook door het vaart verminderen voor het oppakken van de loods. Om dit verschil te kwantificeren is voor alle NUC-records op zee de afstand tot de

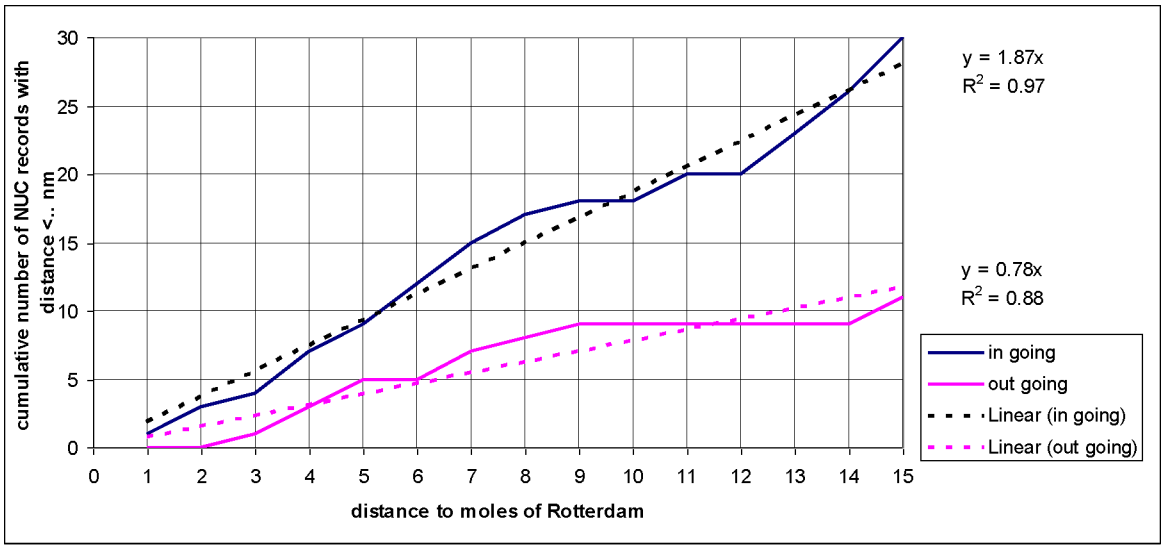
havenmond bepaald. Gerekend is met de kortste afstand, dus niet helemaal gelijk aan de vaarafstand, maar dat heeft geen effect op de resultaten van deze analyse. Vervolgens is een tabel gemaakt met het aantal NUC-records per mijl. Hierbij is een splitsing gemaakt tussen de inkomende schepen (bestemming Rotterdam, Moerdijk etc.) en de uitgaande schepen. De schepen zonder bestemming zijn niet behandeld. De resultaten worden getoond in Figuur 3-20. Uit de figuur blijkt dat het aantal NUC-records inkomend, groter is dan uitgaand, wat de grotere kans op een storing bij inkomende schepen bevestigt. Figuur 3-20 dient als volgt gelezen te worden. Er zijn 30 inkomende schepen die NUC-records hebben verzonden binnen een afstand van 15 mijl tot de havenmond van Rotterdam. Voor uitgaande schepen bedraagt dit aantal 11. Voor de grotere afstanden tot Rotterdam neemt het aantal voor uitgaande schepen relatief meer toe. De reden is dat deze schepen niet allemaal uit Rotterdam zijn vertrokken, maar bijvoorbeeld uit Hamburg met bestemming Antwerpen. Alleen voor schepen met een afstand kleiner dan 15 zeemijl van de havenmond van Rotterdam en bestemming buiten Rotterdam kan worden aangenomen dat ze uit Rotterdam vertrokken zijn. Om deze reden is Figuur 3-21 toegevoegd, waarbij de afstand en de regressielijnen zijn bepaald voor het traject tot 15 mijl voor Rotterdam. Op dit traject is de kans op een NUC 1.87/0.78= 2.4 keer zo groot.

Voor de berekeningen in hoofdstuk 4 wordt met deze factor van 2.4 gewerkt om het extra risico voor tijdelijk niet manoeuvreerbare schepen te kwantificeren. Hierbij wordt dan aangenomen dat bij deze schepen dezelfde storingsduur optreedt als gemiddeld op de Noordzee, wat vermoedelijk een overschatting van het probleem is omdat de storingen elders op zee eerder het gevolg zijn van een defecte machine en dus waarschijnlijk langer duren dan de storingen door het overgaan van zeestatus naar havenstatus.

Voor het kwantificeren van de extra aandrijfkans voor een windpark is een extra verkeersdatabase aangemaakt die alleen de ingaande links naar een haven bevatten. Er is verondersteld dat de extra storingskans optreedt op een traject van 10 zeemijl, voordat het loodsstation wordt bereikt vanuit alle richtingen voor de bestemmingen in de Rijnmond, IJmond, Den Helder, Harlingen en de Eemsmond.
Voor de studie voor windpark North Sea Power ([8] en [9]) en eerdere Belgische windpark studies is de extra aandrijfkans berekend op basis van de verkeersdatabase voor 2008. De berekende verhoging in [8] en [9] was 0.5%. In de huidige studie is eenzelfde verhoging aangehouden.



Figuur 3-20 Aantal storingen op traject tot havenmond



Figuur 3-21 Aantal storingen op traject tot havenmond

4 RESULTATEN

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee omgevingsscenario's en twee configuraties van het windpark SeaStar. Voor de in totaal vier scenario's zijn de resultaten van de berekeningen gegeven in verschillende tabellen in de Appendix.

Voor iedere variant is eenzelfde set tabellen gegeven. In de tekst in dit hoofdstuk wordt alleen verwezen naar de tabellen voor de eerste variant. Iedere variant begint met een figuur met de lay-out van het windpark en de nummering van de windturbines. De routegebonden schepen worden in de tabellen verkort weergegeven met "R-schepen" en de niet-routegebonden schepen worden aangeduid met "N-schepen".

4.1 Locatie, scenario's en configuraties

De windparken in de omgeving van SeaStar beïnvloeden de verkeersstromen rond het windpark. Aangezien vijf van de zeven windparklocaties al vergund en reeds in aanbouw is, heeft het weinig zin om SeaStar los van deze windparken te beschouwen. Er is daarom uitgegaan van drie verkeersscenario's, opgesomd in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Aanwezige windparken per verkeersscenario

Verkeersscenario	Aanwezige windparken
Basis	Belwind Northwind C-Power Norther
Scenario 1 (volledig aaneengesloten windparken)	Belwind SeaStar Northwind Rentel C-Power Norther
Scenario 2 (volledige realisatie van alle windparken)	Mermaid Belwind SeaStar Northwind Rentel C-Power Norther

De situatie in 2012 waarvoor het verkeer is bepaald, wijkt nog af van het basis scenario. Deze 'huidige' situatie wordt in Figuur 4-1 weergegeven. Na routeren van het verkeer waarbij ook Norther en Northwind aanwezig worden verondersteld, ontstaat het verkeer in het basis scenario, gegeven in Figuur 4-2. De verkeerssituatie in scenario 1 en scenario 2 wordt gegeven in respectievelijk Figuur 4-3 en Figuur 4-4. Hierbij is tevens een zone ten zuiden van SeaStar vrijgehouden waar mogelijk een offshore eiland wordt aangelegd voor het Belgisch Offshore Grid (BOG)
In de laatste twee figuren is ook het gebied op een afstand van 1 zeemijl van de buitenste turbines weergegeven.

Er zijn twee configuraties van SeaStar die ieder in combinatie met beide scenario's doorgerekend zijn:

- Configuratie 41: 41 windturbines van 6.15 MW op een jacket fundering;
- Configuratie 62: 62 windturbines van 5 MW op een gravity based of monopile fundering.

In Tabel 4-2 zijn de aantallen, vermogens en afmetingen van de configuraties gegeven.

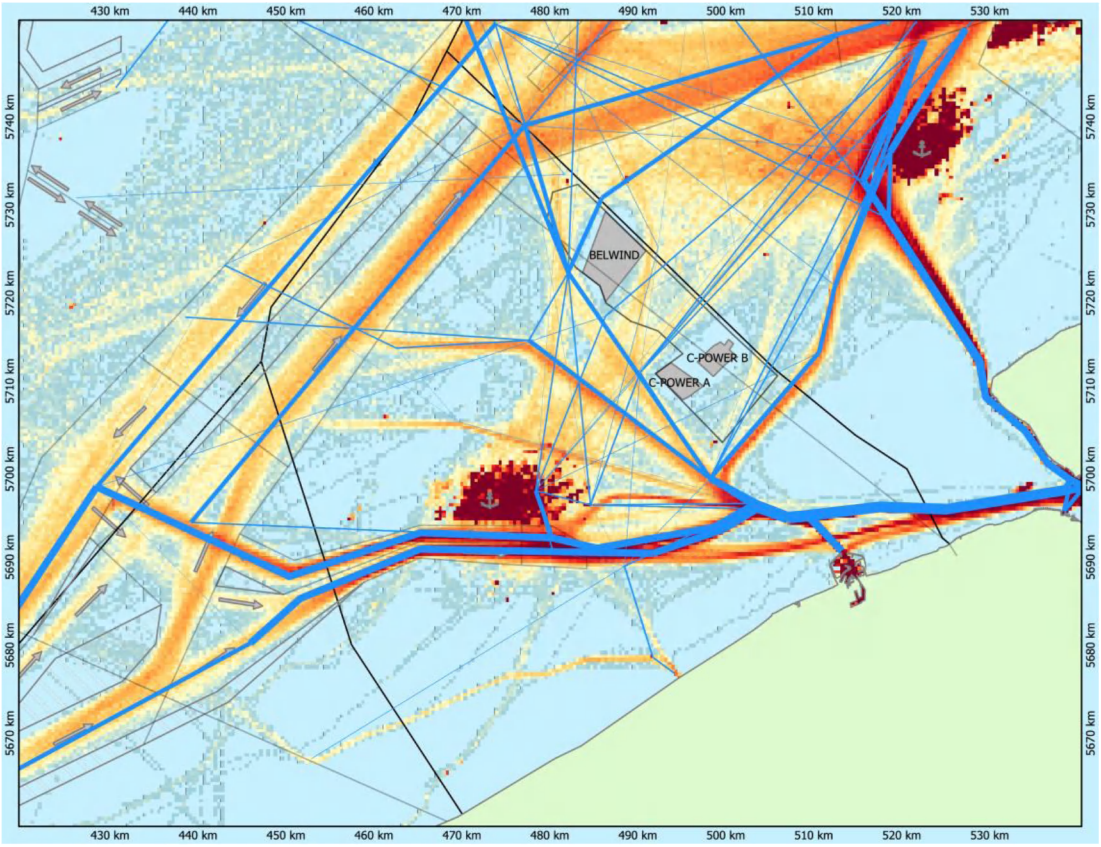
Tabel 4-2 Configuratie gegevens

	Turbines				Fundering	
Config.	Aant.	Type	Vermogen	Rotor diameter	Type	Afmeting
41	41	RePower	6.15 MW	126 m	jacket	17 x 17 m
62	62	Areva M5000	5 MW	116 m	monopile / gravity based	5 m (diameter)

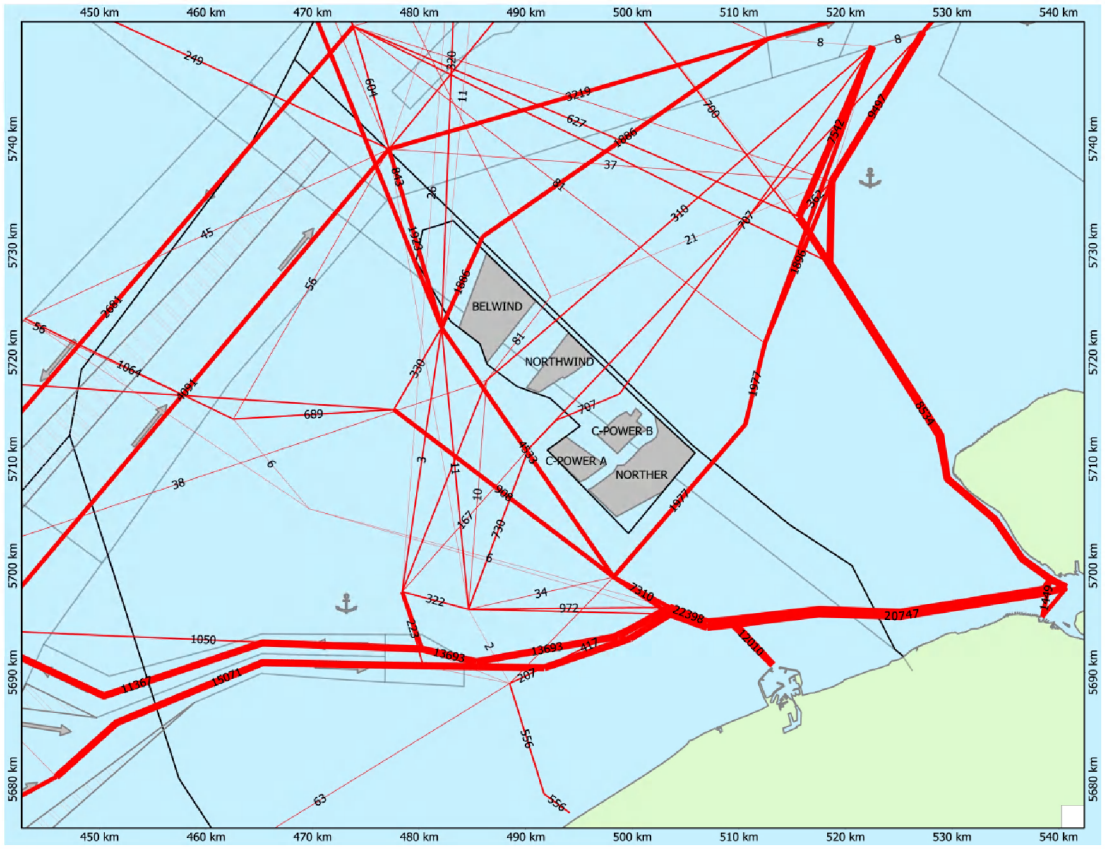
In totaal zijn vier scenario's doorgerekend:

- Scenario 1-41: verkeersscenario 1 in combinatie met SeaStar configuratie 41
- Scenario 1-62: verkeersscenario 1 in combinatie met SeaStar configuratie 62
- Scenario 2-41: verkeersscenario 2 in combinatie met SeaStar configuratie 41
- Scenario 2-62: verkeersscenario 2 in combinatie met SeaStar configuratie 62

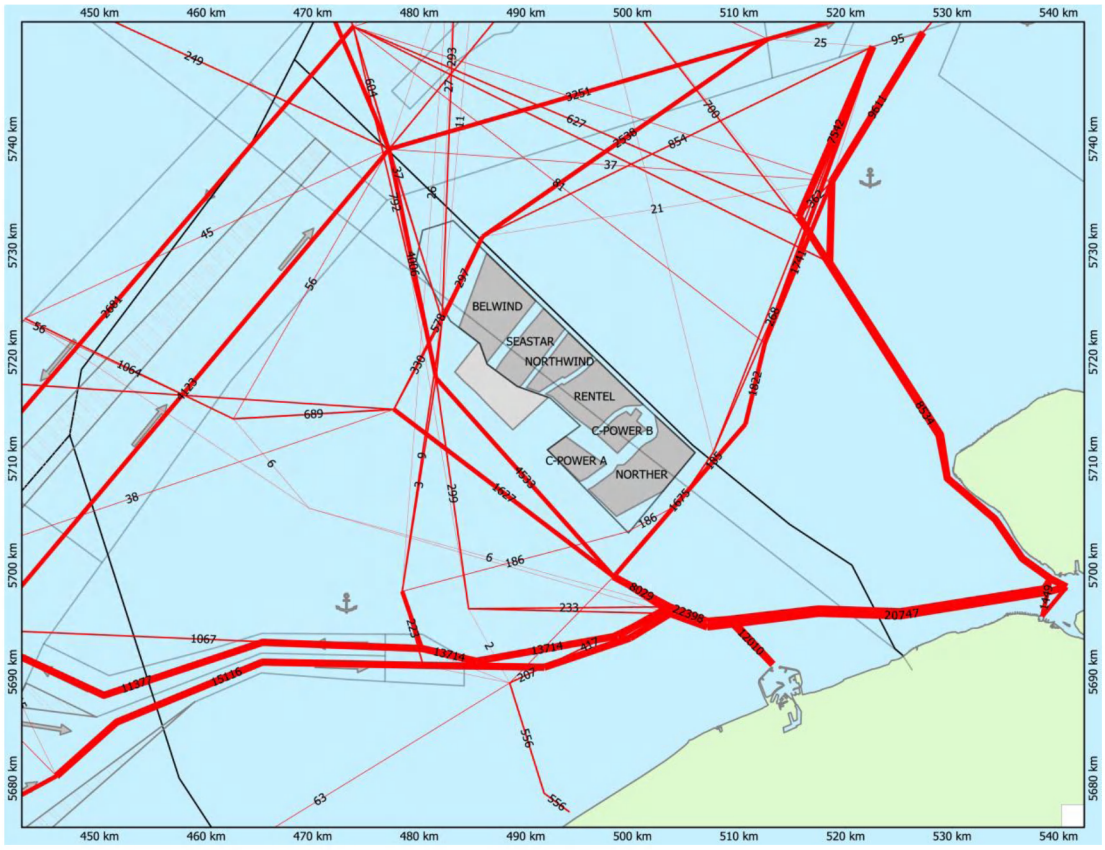
Het basisscenario wordt alleen doorgerekend om de effecten van het verschuiven van de verkeersroutes op de verkeersveiligheid buiten het windpark te berekenen. Zowel scenario 1 als scenario 2 worden op die punten vergeleken met het basisscenario.



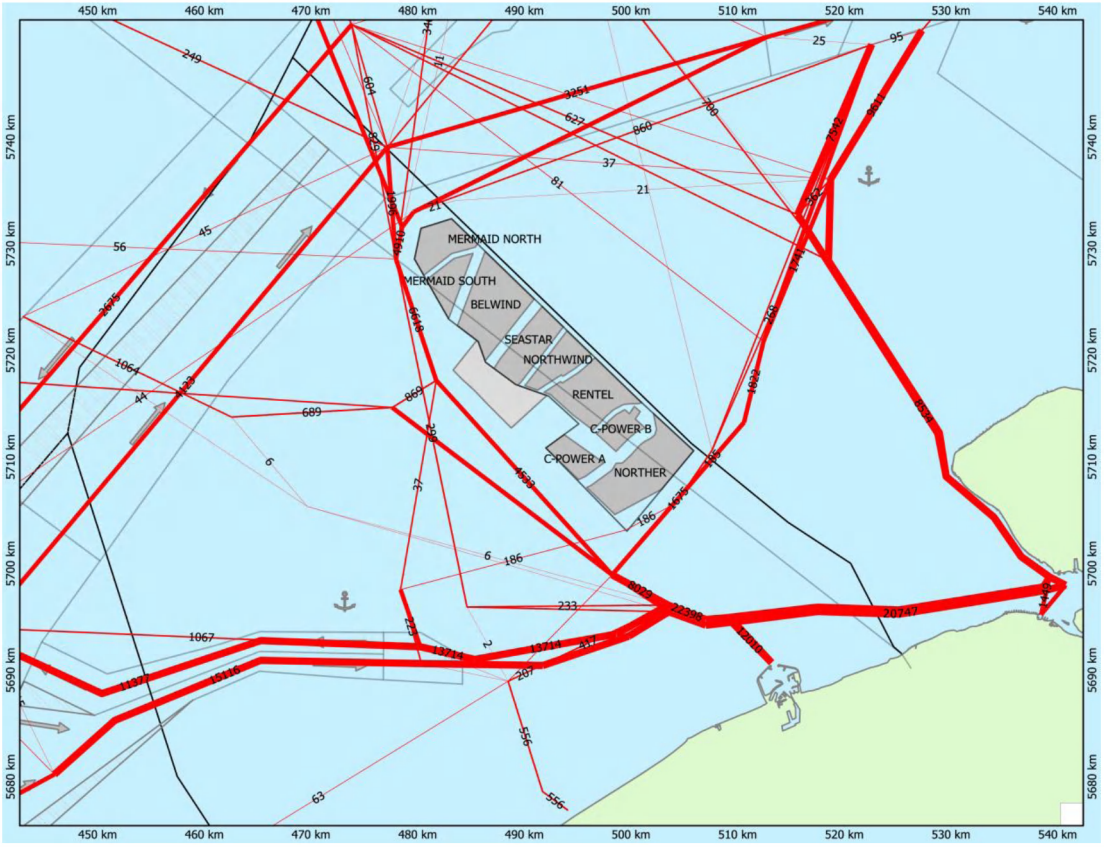
Figuur 4-1 Verkeersbeeld in de huidige situatie, bij aanwezigheid van windparken Belwind en C-Power



Figuur 4-2 *Verkeerssituatie in het basis scenario bij aanwezigheid van Belwind, Northwind, C-Power en Norther*



Figuur 4-3 *Verkeerssituatie in scenario 1 bij aanwezigheid van Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther*



Figuur 4-4 ***Verkeerssituatie in scenario 2 bij aanwezigheid van Mermaid, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther***

4.2 Aanvaar/aandrijf frequenties windparken

Door de aanwezigheid van het windpark is een nieuw type risico ontstaan op die locatie op zee, namelijk de kans dat een schip tegen één van de windturbines aanvaart (rammen) of aandrijft (driften). De frequenties voor deze ongevallen zijn bepaald met het SAMSON-model. Voor deze berekeningen is de verkeersdatabase gebruikt waarbij de windparklocatie is vrijgemaakt van verkeer (zie Figuur 4-3 en Figuur 4-4). De resultaten van deze berekening worden gegeven in termen van het aantal mogelijke aanvaringen per jaar voor elke windturbine afzonderlijk en voor het gehele windpark.
Bij het bepalen van de frequenties is rekening gehouden met de extra aandrijfkans (door routegebonden schepen) als gevolg van de verhoogde storingskans nabij de aanloop van een haven (zie 3.8). Door de ligging van de Belgische windparken is het effect hiervan relatief klein. Voor windpark Norther neemt het totaal aantal aandrijvingen per jaar door routegebonden schepen door de extra storingskans slechts met 0.5% toe, en voor de overige windparken is dit nog lager.

In Tabel A1-1 van Appendix A staan voor scenario 1-41 de aanvaar- en aandrijffrequenties per windturbine. Figuur A1-1 toont een grafische weergave hiervan. Voor de overige drie varianten staan deze frequenties in Tabel A2-1 tot en met Tabel A4-1 en Figuur A2-1 tot en met Figuur A4- 1. (Voor het gemak zal in het vervolg alleen worden verwezen worden naar het tabel- of figuurnummer van de eerste variant). In Tabel A1-2 in Appendix A1 staat het totaal verwachte aantal aanvaringen en aandrijvingen per jaar voor het gehele windpark.

Uit deze tabellen en figuren blijkt dat de windturbines aan de zuidwestelijke en noordoostelijke randen van het park relatief hogere aanvaarkansen hebben vergeleken met de overige turbines. Dit is zoals te verwachten was. Wat wel opvalt is dat de turbines aan de noordoostelijke rand hierbij een hogere aanvaarkans hebben dan de zuidwestelijke turbines. Dit wordt veroorzaakt door de niet-routegebonden schepen die ten noordoosten van het windpark aanmerkelijk dichterbij het windpark kunnen varen dan aan de zuidwestelijke kant waar de no-go zone in verband met het BOG eiland het verkeer ver van het park houdt.

Tabel 4-3 bevat de kans op een aanvaring/aandrijving per jaar gesommeerd over alle windturbines in het windpark SeaStar onder elk scenario.
Uit deze tabel blijkt dat het aantal aanvaringen (rammen) vooral wordt bepaald door het niet-routegebonden verkeer, en dat dit voor de SeaStar varianten met 41 turbines groter is dan voor de varianten met 62 turbines. Dit komt door de grotere afmeting van de fundering (jackets). Voor de aandrijvingen is het effect van de jackets aanmerkelijk minder, omdat wordt aangenomen dat schepen de turbines dan dwars raken, waardoor de afmeting van de turbine ten opzichte van de lengte van het schip nauwelijks verschil maakt. Voor de aandrijvingen geldt dat de frequentie vooral bepaald wordt door de aantallen turbines per variant. De variant met de meeste turbines heeft hierdoor ook de grootste aandrijvingskansen.
Uit de totale kans blijkt dat het effect van de grotere fundering ruimschoots wordt gecompenseerd door het kleinere aantal turbines voor de 41 turbines varianten. De variant met 62 turbines hebben ook de grootste totale kans op aanvaring of aandrijving.

Tabel 4-4 laat de gemiddelde kansen zien per turbine. In deze tabel wordt het effect van de jacket in plaats van monopile duidelijk. Bij de varianten met jackets hebben de turbines gemiddeld 13.4% tot 15.8% hogere aanvarings- of aandrijvingskans (0.000344 / 0.000297 = 115.8% en 0.000330 / 0.000291 = 113.4%)

In Tabel 4-5 wordt de aanvaar/aandrijfkans gegeven per verwachte energieopbrengst in MWh voor iedere variant. Deze getallen moeten dus geminimaliseerd worden om het risico per energieopbrengst te minimaliseren. Bij het berekenen van de verwachte energieopbrengst is uitgegaan van een rendement van 35% van het turbinevermogen.
Deze tabel laat zien dat de turbines met groter vermogen een lagere aanvaringskans per MWh opleveren, zelfs ondanks dat deze op jackets zijn geplaatst.

Tabel 4-3 ***Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario***

Scenario **SeaStar**	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
			R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Scenario 1-41	773092	41	0.00042	0.00223	0.01026	0.00118	0.01409
Scenario 1-62	950460	62	0.00049	0.00171	0.01477	0.00145	0.01842
Scenario 2-41	773092	41	0.00030	0.00218	0.00991	0.00113	0.01353
Scenario 2-62	950460	62	0.00058	0.00171	0.01432	0.00145	0.01806

Tabel 4-4 ***Gemiddelde aanvarings- en aandrijvingsfrequentie per turbine voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario***

Scenario **SeaStar**	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per turbine		Aantal aandrijvingen (driften) per turbine		Gemiddeld per turbine
			R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Scenario 1-41	773092	41	0.000010	0.000054	0.000250	0.000029	0.000344
Scenario 1-62	950460	62	0.000008	0.000028	0.000238	0.000023	0.000297
Scenario 2-41	773092	41	0.000007	0.000053	0.000242	0.000028	0.000330
Scenario 2-62	950460	62	0.000009	0.000028	0.000231	0.000023	0.000291

Tabel 4-5 ***Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per MWh voor het SeaStar windpark binnen het beschouwde scenario***

Scenario **SeaStar**	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per MWh		Aantal aandrijvingen (driften) per MWh		Totaal per MWh
			R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Scenario 1-41	773092	41	5.39E-10	2.88E-09	1.33E-08	1.53E-09	1.82E-08
Scenario 1-62	950460	62	5.19E-10	1.80E-09	1.55E-08	1.52E-09	1.94E-08
Scenario 2-41	773092	41	3.92E-10	2.82E-09	1.28E-08	1.46E-09	1.75E-08
Scenario 2-62	950460	62	6.14E-10	1.80E-09	1.51E-08	1.52E-09	1.90E-08

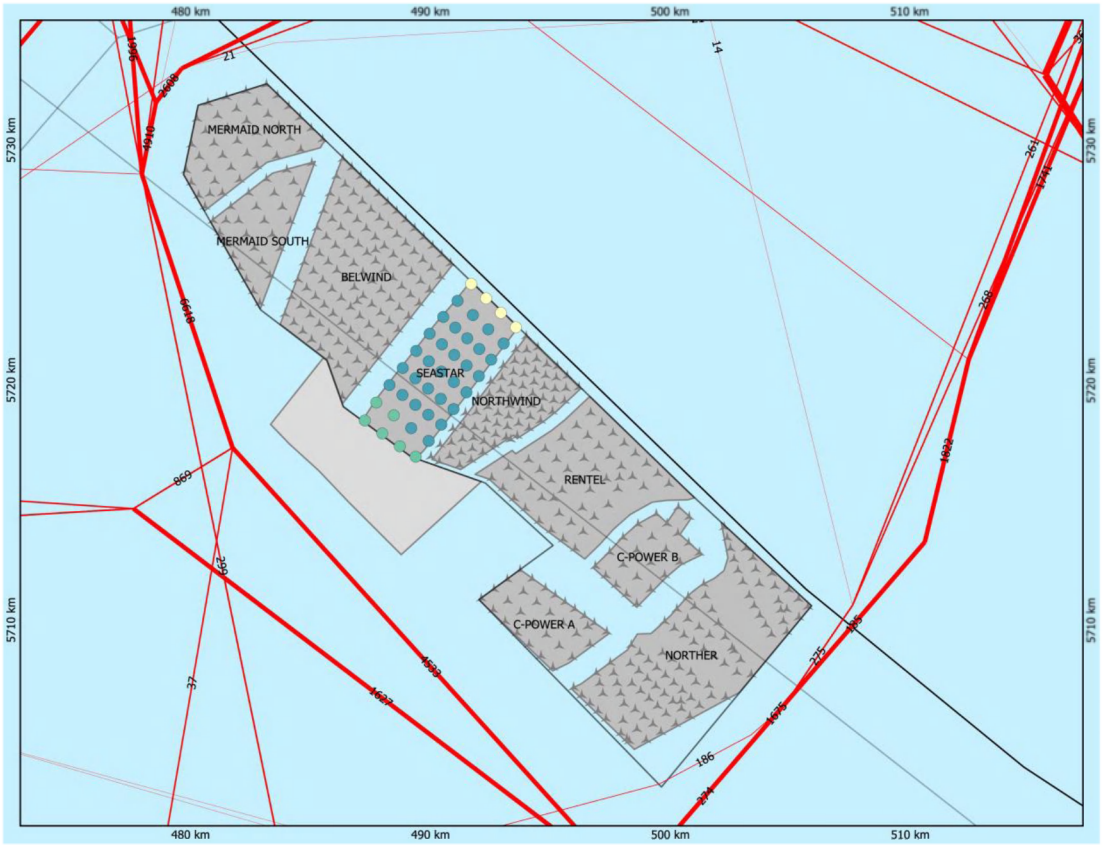
In Tabel 4-6 en Tabel 4-7 zijn voor achtereenvolgens scenario 1 en 2 voor alle windparken en configuraties die voor het scenario berekend zijn de aanvarings- en aandrijvingskansen weergegeven. In Tabel A1- 4 is daarnaast de bijdrage van de kansen per windpark gegeven aan de totale aanvaringskansen voor het gehele scenario. De situatie voor scenario 2 is voor de 41 turbines variant van SeaStar weergegeven in Figuur 4-5.
Uit deze tabellen blijkt dat de bijdrage van SeaStar in vergelijking met de overige windparken erg klein is. Dit is zoals verwacht, aangezien het park in vergelijking met de overige windparken ver van de verkeersroutes af ligt. Voor zowel scenario 1 als 2 geldt dat de twee buitenste windparken de hoogste aanvaringskansen hebben.

Tabel 4-6 ***Verwachte aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken en configuraties in cumulatief scenario 1***

Alle windparken en configuraties onder scenario 1	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar 41	0.00042	0.00223	0.01026	0.00118	0.01409
SeaStar 62	0.00049	0.00171	0.01477	0.00145	0.01842
Norther	0.02692	0.00242	0.04003	0.00277	0.07214
C-Power	0.00243	0.00073	0.01747	0.00144	0.02208
Rentel	0.00009	0.00311	0.01513	0.00199	0.02032
Northwind	0.00012	0.00128	0.01683	0.00173	0.01996
Belwind	0.01711	0.00228	0.03255	0.00217	0.05412

Tabel 4-7 ***Verwachte aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken en configuraties in cumulatief scenario 2***

Alle windparken en configuraties onder scenario 2	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar 41	0.00030	0.00218	0.00991	0.00113	0.01353
SeaStar 62	0.00058	0.00171	0.01432	0.00145	0.01806
Norther	0.02686	0.00242	0.03998	0.00277	0.07202
C-Power	0.00234	0.00073	0.01742	0.00144	0.02192
Rentel	0.00009	0.00299	0.01503	0.00199	0.02011
Northwind	0.00016	0.00124	0.01659	0.00171	0.01970
Belwind	0.00099	0.00167	0.02761	0.00203	0.03231
Mermaid	0.02142	0.00293	0.02415	0.00206	0.05056



Figuur 4-5 ***Weergave van de turbines in scenario 2 met de kansen voor de SeaStar-41 variant***

In Tabel 4-8 staan voor de vier verschillende configuratie- en scenario- combinaties (varianten) de totale aanvarings- en aandrijvings gegeven, gesommeerd over alle parken. Voor scenario 1 ligt het totaal op ongeveer 0.20-0.21 aanvaringen per jaar met een windpark turbine. Voor scenario 2 met Mermaid is dit ongeveer 0.23.

Tabel 4-9 laat de aanvaar- en aandrijfkansen van SeaStar zien in verhouding tot de totale aanvaar- en aandrijfkans voor de windparken in het scenario. Het aandeel aanvaringen van SeaStar bedraagt ongeveer 6% tot 9% van het totaal aantal verwachte aanvaringen met een windturbine in de scenario's.

Tabel 4-8 ***Verwacht totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor alle parken in een scenario***

Scenario alle windparken	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Windparken scenario 1-41	0.04709	0.01205	0.13228	0.01129	0.20271
Windparken scenario 1-62	0.04717	0.01153	0.13678	0.01155	0.20704
Windparken scenario 2-41	0.05217	0.01416	0.15069	0.01312	0.23014
Windparken scenario 2-62	0.05245	0.01369	0.15511	0.01344	0.23469

Tabel 4-9 ***Verwacht aandeel aanvaringen/aandrijvingen voor het SeaStar windpark in verhouding met het totaal voor alle windparken per scenario***

Scenario **SeaStar**	Relatief aantal aanvaringen (rammen) t.o.v. geheel scenario		Relatief aantal aandrijvingen (driften) t.o.v. geheel scenario		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Scenario 1-41	0.9%	18.5%	7.8%	10.5%	7.0%
Scenario 1-62	1.0%	14.8%	10.8%	12.5%	8.9%
Scenario 2-41	0.6%	15.4%	6.6%	8.6%	5.9%
Scenario 2-62	1.1%	12.5%	9.2%	10.8%	7.7%

4.3 Gevolgschade

4.3.1 Schade aan het schip

Voor de gevolgschade aan het schip worden drie types onderscheiden: schade aan het schip in het geval dat de gondel en mastdeel op het schip valt na de aanvaring, alleen schade aan de scheepshuid en geen schade. De frequentie van ieder type schade aan het schip is voor de eerste variant gegeven in Tabel A1-5 in de Appendix. De frequenties worden gegeven voor zeven verschillende scheepstypen.
De onderlinge vergelijking vindt plaats in 4.3.3 bij de behandeling van de bunker en olie-uitstroom.

4.3.2 Schade aan de windturbines

Voor de gevolgschade aan de windturbines worden vier typen onderscheiden: geen schade, de turbine kan scheef gaan staan, de turbine kan omvallen, de gondel en mast kunnen op het schip vallen. De frequentie van deze verschillende types voor het gehele windpark gesommeerd is voor het eerste scenario gegeven in Tabel A1-6 in de Appendix.

Op basis van de gemiddelde massa van een bepaald scheepstype en scheepsgrootte en de gemiddelde snelheid kan de kinetische energie bepaald worden op het moment van 'impact'. De verdeling van de aanvaar/aandrijffrequenties voor de verschillende impactenergie-niveaus is gegeven in Tabel A1-7. Uit deze tabel volgt dat bij scenario 1-41 81.2% van de contacten met turbines door driften wordt veroorzaakt, en 18.8% door rammen. Verder blijkt dat het voor ongeveer 75.8% routegebonden schepen betreft.
Figuur A1-2 bevat nogmaals de aanvaringsfrequenties. Met deze figuur wordt weergegeven hoe vaak aanvaringen met bepaalde impact voorkomen. Alle aanvaringen hebben een impact energie groter dan 0.0001 MJ. Echter, het aantal aanvaringen dat een impact heeft boven een bepaalde energiewaarde, zal afnemen naar mate die drempelwaarde (op de y-as) toeneemt. De lijnen lopen dus richting de y-as. De groene lijn valt vanaf net boven de 100 MJ samen met de y-as, evenals de blauwe en rode lijn samenvallen. Vanaf dat punt zijn er geen aandrijvingen meer, en alleen aanvaringen hebben een hogere impact.

4.3.3 Milieuschade

De schade aan het milieu als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine wordt bepaald door de hoeveelheid olie die uit een schip stroomt. Er worden twee hoofdtypen olie onderscheiden: bunkerolie en ladingolie. In Tabel A1-8 wordt voor de

eerste variant de frequentie voor de uitstroom van bunkerolie gegeven voor verschillende uitstroomvolume klassen. In Tabel A1-9 wordt de frequentie van uitstroom van ladingolie gegeven. In Tabel A1-10 worden beide oliesoorten naast elkaar gezet.

De totale kans op een uitstroom van olie en de gemiddelde hoeveelheid uitstroom per jaar per variant is gegeven in Tabel 4-10. Op basis van de frequenties is de gemiddelde tijd tussen twee uitstromingen van olie bepaald, bijvoorbeeld 1/(0.000543+0.000130) ≈ 1486 jaar voor SeaStar onder scenario 1-41.
De gemiddelde uitstroom van 0.73 m^3 ladingolie voor deze variant in Tabel 4-10 dient alleen als vergelijking. Een uitstroom van 0.73 m^3 ieder jaar geeft immers een heel andere milieubelasting dan een uitstroom van 73 m^3 eens in de 100 jaar op één bepaald moment. In de Appendix is daarom in Tabel A1-8 en Tabel A1-9 de verdeling van het uitstroomvolume over verschillende volumeklassen gegeven.

Om een idee te krijgen van wat dit betekent is de uitstroom aan olie ten gevolge van een ongeval (alle verschillende typen) voor het gehele Belgisch Deel van de Noordzee toegevoegd. Dit getal geldt voor de situatie zonder windparken. De uitstroom van bunkerolie en ladingolie als gevolg van een aanvaring met een SeaStar turbine onder scenario 1-41 is (0.000543 + 0.000130) / (0.023553 + 0.008280) ≈ 2.1% van de uitstroom op het Belgisch Deel van de Noordzee zonder windparken.
In Tabel 4-11 zijn de waarden van Tabel 4-10 als percentage van het totaal voor de windparken per scenario gegeven. Het aandeel van SeaStar in de uitstroom als gevolg van de windparken is in scenario 1-41 voor bunkerolie 7.7%. Voor ladingolie is het aandeel 8.3%.

In Tabel 4-12 is de verwachte jaarlijkse uitstroom per SeaStar variant gerelateerd aan de totale verwachte uitstroom van alle windparken in het betreffende scenario. Combinatie van deze tabel met Tabel 4-11 levert dat onder scenario 1-41 dat de 0.374 m^3 bunkerolie uitstroom van SeaStar 7.5% van de totale bunkerolie uitstroom is, oftewel: gemiddeld stroomt per jaar naar verwachting 4.99 m^3 bunkerolie uit als gevolg van alle windparken in dit cumulatieve scenario. Eenzelfde redenering levert een gemiddelde verwachte ladingolie uitstroom van 8.52 m^3 per jaar. Bij elkaar is dit dus de totale olie uitstroom van 13.51 m^3 per jaar.

In Tabel 4-13 zijn de uitstroomfrequenties gegeven per MWh.

Tabel 4-10 ***Uitstroomkans en hoeveelheid van bunkerolie en ladingolie***

Variant **SeaStar**	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Eens in de … jaar
Scenario 1-41	0.000543	1843	0.374	0.000130	7691	0.733	1486
Scenario 1-62	0.000786	1272	0.553	0.000191	5225	1.088	1023
Scenario 2-41	0.000524	1909	0.361	0.000128	7833	0.728	1535
Scenario 2-62	0.000763	1311	0.535	0.000188	5315	1.081	1052
Belgische Noordzee (zonder windparken)	0.023553	42	6.1	0.008280	121	164.2	31

Tabel 4-11 ***Uitstroom van bunkerolie en ladingolie als percentage van de totale uitstroom die als gevolg van de veronderstelde windparken in de scenario's plaats vindt***

Variant **SeaStar**	Bunkerolie		Ladingolie	
	Frequentie	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
Scenario 1-41	7.7%	7.5%	8.3%	8.6%
Scenario 1-62	10.8%	10.7%	11.8%	12.3%
Scenario 2-41	7.8%	7.5%	8.4%	8.7%
Scenario 2-62	10.9%	10.8%	12.0%	12.4%

Tabel 4-12 ***Gemiddelde olie uitstroom vanwege het SeaStar windpark ten opzichte van alle windparken per scenario***

Variant **SeaStar**	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3				Aandeel SeaStar in uitstroom alle windparken
	SeaStar bunker olie	SeaStar lading olie	SeaStar totaal	Totaal windparken cumulatief scenario	
Scenario 1-41	0.374	0.733	1.107	13.511	8.2%
Scenario 1-62	0.553	1.088	1.640	14.044	11.7%
Scenario 2-41	0.361	0.728	1.088	13.185	8.3%
Scenario 2-62	0.535	1.081	1.616	13.713	11.8%

Tabel 4-13 De uitstroom van bunkerolie en ladingolie per MWh

Variant **SeaStar**	Energie-opbrengst [MWh/jaar]	Bunkerolie		Ladingolie	
		Frequentie per MWh	Gemiddelde uitstroom (m^3/MWh)	Frequentie per MWh	Gemiddelde uitstroom (m^3/MWh)
Scenario 1-41	773092	7.02E-10	4.84E-07	1.68E-10	9.48E-07
Scenario 1-62	950460	8.27E-10	5.81E-07	2.01E-10	1.14E-06
Scenario 2-41	773092	6.78E-10	4.66E-07	1.65E-10	9.41E-07
Scenario 2-62	950460	8.02E-10	5.63E-07	1.98E-10	1.14E-06

Naast de uitstroom van olie veroorzaakt ook de uitstroom van chemicaliën schade aan het milieu. Niet alle soorten chemicaliën zijn even schadelijk voor het milieu, de mate waarin een bepaalde stof schadelijk is wordt aangeduid met ecologisch risico. In Tabel A1-11 worden de frequenties gegeven van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine voor verschillend ecologisch risico.

4.3.4 Persoonlijk letstel

Persoonlijk letstel wordt veroorzaakt doordat de gondel en de mast op het dek van een schip vallen. In Tabel A1-12 is voor windpark SeaStar in scenario 1-41 een overzicht gegeven van het aantal directe doden als gevolg van het op het dek vallen van de gondel en de mast. Ook wordt een indicatie gegeven van het groepsrisico. Bij het groepsrisico is de kans op een ramp met meer dan 10 dodelijke slachtoffers gegeven. Een dergelijke ramp doet zich alleen maar voor wanneer een chemicaliën tanker, een ferry of een gastanker de windturbine aanvaart, waarna deze knikt en op het dek terecht komt. Voor de frequenties wordt verwezen naar de detailtabellen in Appendix A.

Beoordeling van het risico

Er bestaan geen echte normen voor het risico op zee maar voor het afschatten van de externe veiligheid is aansluiting gezocht bij de risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, zoals beschreven in [6].

Voor een windpark liggen alle contouren voor het individuele risico op het water zodat altijd aan de (eventuele) norm voor het individueel risico wordt voldaan.

In [6] is een oriënterende waarde voor het groepsrisico gegeven van 10^{-4} per jaar per kilometer route (vaarweg) voor een ramp met minstens 10 slachtoffers. Het is overigens de vraag of deze norm toegepast mag worden, want het gaat hier om slachtoffers van de vervoerders (die het ongeval veroorzaken) en niet om slachtoffers in de directe omgeving van de route. Toch is deze oriënterende waarde gebruikt voor het beoordelen van het groepsrisico. Bij scenario 1-41 is de kans op meer dan 10 doden gelijk aan 1/714286 per jaar ≈ 1.4×10^{-6} (zie Tabel A1-12). Het windpark heeft een lengte van ongeveer 3 km. Per km vaarweg is de kans dus 4.67×10^{-7} Gezien de 'worst case' benaderingen mag geconcludeerd worden dat het overlijdensrisico geen echte rol speelt bij de keuze van de inrichtingsvariant.

4.4 Effecten en overige risico's voor de scheepvaart

Buiten de mogelijke aanvaringen met windturbines kan de aanwezigheid van de windparken ook op andere gebieden effect hebben op de scheepvaart. Zo zorgt omvaren van schepen voor extra kosten en zal door omvaren het aantal aanwezige schepen op zee toenemen. Bovendien heeft het verleggen van de routes en een verandering van intensiteiten ook een mogelijk effect op de onderlinge ontmoetingen van schepen, en daarmee ook op het risico van onderlinge aanvaringen.

Tabel 4-14 en Tabel 4-15 geven de effecten van het windpark op de scheepvaartongevallen buiten het windpark op de Belgische Noordzee, als gevolg van de veranderingen van de vaarroutes ten opzichte van het basis scenario.

4.4.1 Aantal aanwezige schepen

In de bovenste rijen van de tabellen staan per scenario in de laatste drie kolommen de effecten op de aantallen aanwezige schepen per scheepstype. De eerste kolom hiervan geeft het absolute aantal aanwezige schepen onder het betreffende scenario. De kolom daarnaast geeft het absolute verschil ten opzichte van het basis scenario en de laatste kolom geeft het relatieve verschil ten opzichte van het basis scenario.

Opvallend is dat in scenario 1 voor het type Unitised minder schepen aanwezig zijn.

4.4.2 Veiligheid

In de tabellen staan onder 'veiligheid' de effecten van de veranderde routes op de aantallen ongevallen weergegeven per ongevalstype. De eerste kolom geeft het aantal ongevallen in het betreffende scenario. De kolommen ernaast geven respectievelijk de absolute en relatieve toename of afname ten opzichte van het basis scenario.

4.4.3 Economisch effect

Het economisch effect komt tot uitdrukking in het aantal afgelegde zeemijlen op het Belgisch Deel van de Noordzee. Voor scenario 1 lijkt er nauwelijks sprake te zijn van een toename. Dit komt met name door het relatief grote aandeel 'Unitised' schepen dat door afsluiting van de windparken juist korter op het Belgisch Deel van de Noordzee aanwezig is.

4.4.4 Emissies

De extra emissies als gevolg van de windparkscenario's zijn gerelateerd aan de extra zeemijlen, en afhankelijk van scheepstype en scheepsgrootte. Deze extra emissies worden in de onderste rijen van de tabellen gegeven wat betreft CO_2, CO, SO_2 en NO_x door schepen in de gehanteerde verkeersdatabases, en alleen voor het Belgisch Deel van de Noordzee.

Tabel 4-14 ***Scoretabel voor de effecten van windpark SeaStar onder scenario 1 voor de scheepvaart op de Belgische Noordzee***

Omschrijving	Eenheid	Resultaat voor hele Belgische Noordzee na aanpassing van het verkeer volgens scenario 1	Effect windpark t.o.v. basis scenario	Relatieve effect scenario 1 t.o.v. basis scenario
Algemeen				
Gemiddeld aantal aanwezige schepen:				
OBO's		0.004	0.0000	0.00%
Chemicaliën tankers		2.445	0.0080	0.33%
Olietankers		0.961	0.0000	0.00%
Gas tankers		0.794	0.0000	0.00%
Bulkers		1.040	0.0150	1.46%
Unitised		5.176	-0.0640	-1.22%
General Dry Cargo		2.881	0.0060	0.21%
Passenger schepen + conv. ferries		0.360	0.0140	4.05%
High Speed Ferries		0.001	0.0000	0.00%
Overig		1.099	0.0150	1.38%
Totaal routegebonden		14.761	-0.0060	-0.04%
Totaal niet routegebonden (alleen deel dat in VONOVI is waargenomen, zie 3.3.1)		12.801	0.0000	0.00%
Veiligheid				
Aantal schepen betrokken bij een aanvaring	aantal/jaar	1.319	-0.0014	-0.11%
Stranding als gevolg van navigatiefout	aantal/jaar	1.782	-0.0248	-1.37%
Stranding als gevolg van motorstoring	aantal/jaar	0.209	-0.0013	-0.62%
Zinken	aantal/jaar	0.059	0.0002	0.33%
Gat in scheepshuid	aantal/jaar	0.000	0.0000	
Brand/explosie	aantal/jaar	0.000	0.0000	
Totaal		3.369	-0.0273	-0.80%
Economische effect				
Kosten van afgelegde zeemijlen	M€ / jaar	182.251	-0.0287	-0.02%
Emissies				
CO2	kton / year	710		0.12%
CO	kton / year	3		0.11%
SO2	kton / year	7		0.12%
NOx	kton / year	8		-0.73%

Tabel 4-15 ***Scoretabel voor de effecten van windpark SeaStar onder scenario 2 voor de scheepvaart op de Belgische Noordzee***

Omschrijving	Eenheid	Resultaat voor hele Belgische Noordzee na aanpassing van het verkeer volgens scenario 2	Effect windpark t.o.v. basis scenario	Relatieve effect scenario 2 t.o.v. basis scenario
Algemeen				
Gemiddeld aantal aanwezige schepen:				
OBO's		0.004	0.0000	0.00%
Chemicaliën tankers		2.441	0.0040	0.16%
Olietankers		0.963	0.0020	0.21%
Gas tankers		0.795	0.0010	0.13%
Bulkers		1.030	0.0050	0.49%
Unitised		5.271	0.0310	0.59%
General Dry Cargo		2.881	0.0060	0.21%
Passenger schepen + conv. ferries		0.350	0.0040	1.16%
High Speed Ferries		0.001	0.0000	0.00%
Overig		1.089	0.0050	0.46%
Totaal routegebonden		14.825	0.0580	0.39%
Totaal niet routegebonden (alleen deel dat in VONOVI is waargenomen, zie 3.3.1)		12.801	0.0000	0.00%
Veiligheid				
Aantal schepen betrokken bij een aanvaring	aantal/jaar	1.323	0.0027	0.21%
Stranding als gevolg van navigatiefout	aantal/jaar	1.807	0.0000	0.00%
Stranding als gevolg van motorstoring	aantal/jaar	0.210	-0.0002	-0.11%
Zinken	aantal/jaar	0.059	0.0001	0.20%
Gat in scheepshuid	aantal/jaar	0.000	0.0000	
Brand/explosie	aantal/jaar	0.000	0.0000	
Totaal		3.399	0.0026	0.08%
Economische effect				
Kosten van afgelegde zeemijlen	M€ / jaar	182.940	0.6608	0.36%
Emissies				
CO2	kton / year	711		0.30%
CO	kton / year	3		0.31%
SO2	kton / year	7		0.30%
NOx	kton / year	8		0.44%

4.5 Het effect van het werkverkeer op het risico

Gedurende de bouwperiode varen dagelijks enkele schepen (maximaal vijf) van en naar het windpark. De meeste van deze vaarbewegingen worden uitgevoerd met normale snelheid en geven daardoor niet meer hinder voor de andere scheepvaart dan een normale scheepsbeweging. Het effect van deze scheepvaart op het totale risico in een gebied hangt af van de drukte in het gebied. Deze vaarbewegingen moeten gezien worden als normale bedrijvigheid. Het verhoogde risico is van tijdelijke aard.
Vermoedelijk zal Oostende de uitvalsbasis voor het windpark SeaStar worden. Vanuit Oostende naar SeaStar is het ongeveer 1.5 uur varen. Met vijf schepen zijn dit 5 x 1.5 uur x 2 (heen + terug) = 15 extra vaaruren per dag. Tijdens de bouwperiode zijn dus gemiddeld 15/24 = 0.63 extra schepen aanwezig (buiten het park). Op een totaal van 27.8 gemiddeld aanwezige schepen op de Belgische Noordzee is dit een verhoging van 2.3%.
Het aantal van 27.8 schepen is opgebouwd uit 14.8 routegebonden schepen en 12.8 niet–routegebonden schepen, bepaald uit de verkeersdatabase voor het basis scenario in deze studie. In die verkeersdatabase zijn alleen de schepen geteld die in de basis verkeersdatabase voor deze studie zijn meegenomen. Verkeer van bijvoorbeeld Oostende langs de kust naar Nieuwpoort, en verder naar Frankrijk is niet in de verkeersdatabase opgenomen. Tevens zal vanwege AIS dekking een deel van de scheepsreizen in het westelijke deel op de doorgaande route ontbreken.

Gedurende de bouwperiode is de kans op een aanvaring tussen schepen door de verhoogde verkeersintensiteit daarom 4.65% hoger[2] dan normaal (een kwadratische toename ten opzichte van de intensiteit). In de praktijk zal dit minder zijn omdat de schepen de meeste tijd in relatief stille gebieden varen.
De kans op een ander type scheepsongeval neemt in deze periode toe met 2.3%.

4.6 Het cumulatieve effect

Het cumulatieve effect is in deze studie geen afzonderlijk onderwerp, omdat het cumulatieve effect impliciet is ondergebracht in de risicoberekeningen. In de scenario's en configuraties voor SeaStar zijn de nabij gelegen geplande en in aanbouw zijnde windparken als volledig gerealiseerd beschouwd. In beide scenario's zijn een reeks volledig aaneengesloten windparken aangenomen waar windpark SeaStar deel van uit maakt.

4.7 Radardekking van de Belgische havens

Windpark SeaStar valt buiten de radardekking naar een Belgische haven. In een aparte studie door Flemtek wordt de problematiek rond radardekking, in nauwe samenwerking met IMDC, nader bestudeerd en uitgewerkt als onderdeel van het MER.

4.8 Kruisende scheepvaart

Het ontmoetingspunt voor kruisende en in en uitvoegend verkeer ligt op een afstand van drie mijl ten zuiden van de zuidpunt van het windpark SeaStar. De schepen die elkaar daar ontmoeten hebben elkaar ruim van te voren goed in zicht. De extra kans op een

[2] Het aantal aanvaringen tussen schepen neemt kwadratisch met de intensiteit toe.

aanvaring tussen twee kruisende schepen door de aanwezigheid van het windpark SeaStar is daarom verwaarloosbaar klein.

5 MAATREGELEN

5.1 Gebruik van AIS

Sinds 1 januari 2005 hebben alle schepen boven 300 GT (ongeveer 55 m) een AIS-transponder (Automatic Identification System), die de positie van het schip continu uitzendt. In de buurt varende schepen kunnen deze signalen ontvangen en hiermee is de positie, koers en snelheid van het andere schip bekend.
AIS, mits geïntegreerd in de navigatiehulpmiddelen op de scheepsbrug, biedt dan ook extra mogelijkheden om het kruisende schip vroegtijdig te zien. Te meer daar AIS niet verstoord wordt door het windpark. De verwachting is dat AIS, vooral wanneer AIS wordt geïntegreerd in de navigatiehulpmiddelen op de scheepsbrug de veiligheid op zee zal bevorderen. De verwachting is dat daardoor de kans dat een schip tegen een windturbine aanvaart (rammen) zal afnemen met 20%. Deze reductie volgt uit het SAFESHIP-project en de harmonisatie van de aannamen ten behoeve van veiligheidsstudies voor windparken voor de Duitse autoriteiten [7].

Het is de verwachting dat in de toekomst steeds meer kleinere schepen, waaronder vissers, met een AIS-transponder gaan varen, waardoor het probleem van kruisende scheepvaart steeds minder groot wordt.

Door AIS zal de kans op een aandrijving niet veranderen. Een hele kleine (eerder theoretische) reductie wordt verwacht doordat een te hulp geroepen sleepboot de positie van de drifter beter kent en ook doordat men met de AIS-data sneller in staat is de dichtstbijzijnde sleepboot naar de drifter te sturen.

5.2 Inzet van een ETV (Emergency Towing Vessel)

Zoals uit de berekeningen volgt, geeft aandrijven het grootste risico. Een aandrijving, als gevolg van een storing in de voortstuwing, wordt voorkomen wanneer het schip voor anker kan gaan of de storing op tijd verholpen wordt. Met deze processen is in de berekening rekening gehouden.
Een derde mogelijkheid waardoor de storing niet tot een aandrijving leidt is wanneer de drifter vroegtijdig wordt opgevangen door een sleepboot. De Waker was een dergelijke sleepboot (ETV) van de Nederlandse overheid die naar een drifter werd gestuurd zodra er een melding binnenkwam bij de Kustwacht. Na de machinekamerbrand in september 2009 is de Waker uit de vaart genomen. Inmiddels is de opvolger van de Waker gecharterd. Een ETV kan dus een aandrijving voorkomen wanneer het schip de drifter kan bereiken voordat een windturbine wordt geraakt. De reductie van het aantal aandrijvingen hangt sterk af van de positie van de ETV op het moment van de melding. De thuishaven van de Waker was Den Helder en bij windkracht vanaf 5 Beaufort lag de Waker op wacht in het Texel verkeersscheidingsstelsel, omdat bij deze weersomstandigheden de kans op een drifter relatief groot is en ook de kans op een aandrijving omdat de driftsnelheid relatief groot is.
De plaats van De Waker bij het verkeersscheidingsstelsel was gebaseerd op het huidige gevaar van een drifter met het oog op de offshore olie- en gasplatforms. Wanneer er veel windparken gebouwd gaan worden zou de positie van De Waker bij slecht weer kunnen veranderen. Om deze reden is De Waker niet in de standaardberekening opgenomen.

Voor deze studie zijn geen berekeningen uitgevoerd met inzet van een ETV.

5.3 Autonome ontwikkeling uitstroom van olie

Voor het bepalen van de kans op een uitstroom van olie is gebruik gemaakt van de schadematrix die is samengesteld uit het onderzoek uitgevoerd voor het Offshore Windpark Egmond aan Zee [3]. Dit is een 'worst-case' benadering. Wanneer nu de kans op een olie-uitstroom en de hoeveelheid uitstroom een belemmering zouden vormen voor het al dan niet bouwen van offshore windparken, dan verdient deze schadematrix verdere aandacht.

De volgende kanttekeningen kunnen bij deze modellering worden gemaakt:

- De uitstroom van ladingolie en bunkerolie kan optreden nadat een schip groter dan 1000 GT tegen een windturbine aandrijft en er een gat in de scheepshuid wordt aangenomen. In de praktijk zal de windturbine niet vol (centraal) geraakt worden maar met de voor- of achterkant van het schip, waardoor een deel van de botsingsenergie wordt omgezet in een rotatie van het schip.

- Het gebruik van een monopaal zonder uitsteeksels (een aanvaringsvriendelijke monopaal) zal minder vaak tot een gat in de scheepshuid leiden dan een jacket of een monopaal met een platform met andere attributen.

- Bij het bepalen van de uitstroom van ladingolie is uitgegaan van enkelwandige olietankers. De praktijk, autonome ontwikkeling, is dat deze enkelwandige olietankers bijna uitgefaseerd zijn op de Noordzee en zijn vervangen door dubbelwandige tankers. De kans dat er een gat in een ladingtank zal ontstaan bij een aandrijving van een windturbine is bij een dubbelwandige tanker kleiner. Dit betoog gaat niet op voor de kans op een uitstroom van bunkerolie omdat de meeste andere schepen niet dubbelwandig zijn uitgevoerd en de brandstoftank dus meestal enkelwandig is uitgevoerd. Dit betekent dat vooral de kans en hoeveelheid uitstroom van ladingolie minder zal zijn dan met het huidige model wordt berekend. De frequentie voor de uitstroom van bunkerolie zal niet veel afnemen.

In studies voor Duitse en Deense windparken wordt door de Germanischer Lloyd AG aangenomen dat iedere aandrijving en aanvaring leidt tot een gat in de scheepshuid met daaruit mogelijk een uitstroom. Det Norkske Veritas veronderstelt alleen een mogelijke uitstroom na een aandrijving, maar laat niet iedere aandrijving tot een uitstroom leiden. Dit lijkt op de aanname zoals in de NSW-schadematrix (Tabel 3-3) is verwerkt, waarin iedere aandrijving van een schip boven 1000 GT tot een gat leidt, maar of dit vervolgens ook tot een uitstroom leidt hangt af van waar het schip wordt geraakt, of het een lading of ballasttank betreft en of het schip geladen is.

Door de technische universiteit Hamburg-Harburg zijn er ook berekeningen uitgevoerd waarbij is aangetoond dat er geen gat zal ontstaan in de ladingtank bij een dubbelwandig schip.

Conclusie
Gezien de ontbrekende praktijkgevallen blijft een conservatieve benadering van de olie-uitstroom gewenst. Wel mag geconcludeerd worden dat de uitstroom van ladingolie door de invoering van de dubbelwandige tankers bij aandrijvingen van windturbines beduidend minder kan zijn dan met de huidige worst case NSW-schadematrix wordt berekend.

6 CONCLUSIES

In deze studie is op basis van AIS data van 2012 een nieuw verkeersbeeld afgeleid in het gebied rond de Belgische windparken. Hiermee zijn met SAMSON de effecten op de scheepvaart voor twee verschillende omgevingsscenario's en twee verschillende configuraties van het windpark SeaStar berekend.

Onderstaande tabel bevat de aanvarings- en aandrijvingskansen voor de twee varianten van SeaStar in de twee scenario's.

Scenario **SeaStar**	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
			R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Scenario 1-41	773092	41	0.00042	0.00223	0.01026	0.00118	0.01409
Scenario 1-62	950460	62	0.00049	0.00171	0.01477	0.00145	0.01842
Scenario 2-41	773092	41	0.00030	0.00218	0.00991	0.00113	0.01353
Scenario 2-62	950460	62	0.00058	0.00171	0.01432	0.00145	0.01806

De windturbines aan de randen van SeaStar waar geen andere windparken liggen, hebben de hoogste aanvaringskansen. Doordat het verkeer aan de zuidwest kant van het park wordt weggehouden door een no-go zone in verband met het BOG eiland, hebben de turbines aan de noordoostkant van het park de grootste aanvaarkansen.

De aantallen turbines zijn het meest bepalend voor de aanvaringskansen. De grotere afmetingen van jackets worden ruimschoots gecompenseerd wanneer een kleiner aantal turbines wordt gebruikt. Het gebruik van een jacket vergroot de kansen voor windpark SeaStar per turbine met gemiddeld 13% tot 16%.
Het gebruik van turbines met meer vermogen op eventueel grotere funderingen is gunstiger dan meer turbines met kleiner vermogen op kleinere funderingen.

Ten opzichte van de overige parken in de scenario's zijn de aanvaringskansen voor SeaStar relatief laag. Dit komt door de centrale ligging van SeaStar, relatief ver van de drukke verkeersroutes.

De uitstroom van bunkerolie en ladingolie als gevolg van een aanvaring met een SeaStar turbine onder scenario 1-41 is (0.000543 + 0.000130) / (0.023553 + 0.008280) ≈ 2.1% van de uitstroom op het Belgisch Deel van de Noordzee zonder windparken.

REFERENTIES

[1] C. van der Tak, J.H. de Jong
Safety Management Assessment Ranking Tool (SMART)
8th International Symposium on Vessel Traffic Services 1996

[2] W.E. Walker, M. Pöyhönen, C. van der Tak, J.H. de Jong
POLSSS - Policy for Sea Shipping Safety, Executive Summary
RAND Europe and MARIN, December 1998

[3] J. Barentse
Nadere toelichting: Gevolgen van aanvaringen door de windturbine-installatie Jacobs Comprimo Nederland, juli 2000

[4] C. van der Tak
Effecten van ruimteclaims in de Noordzee op de scheepvaart
MARIN, nr 16498.620/2, november 2001

[5] Y. Koldenhof, C. van der Tak
Risico vervoer (milieu)gevaarlijke stoffen op zee
MARIN, juli 2004

[6] Kamerstuk 24611; vergaderjaar 1995-1996
Risico-normering vervoer gevaarlijke stoffen

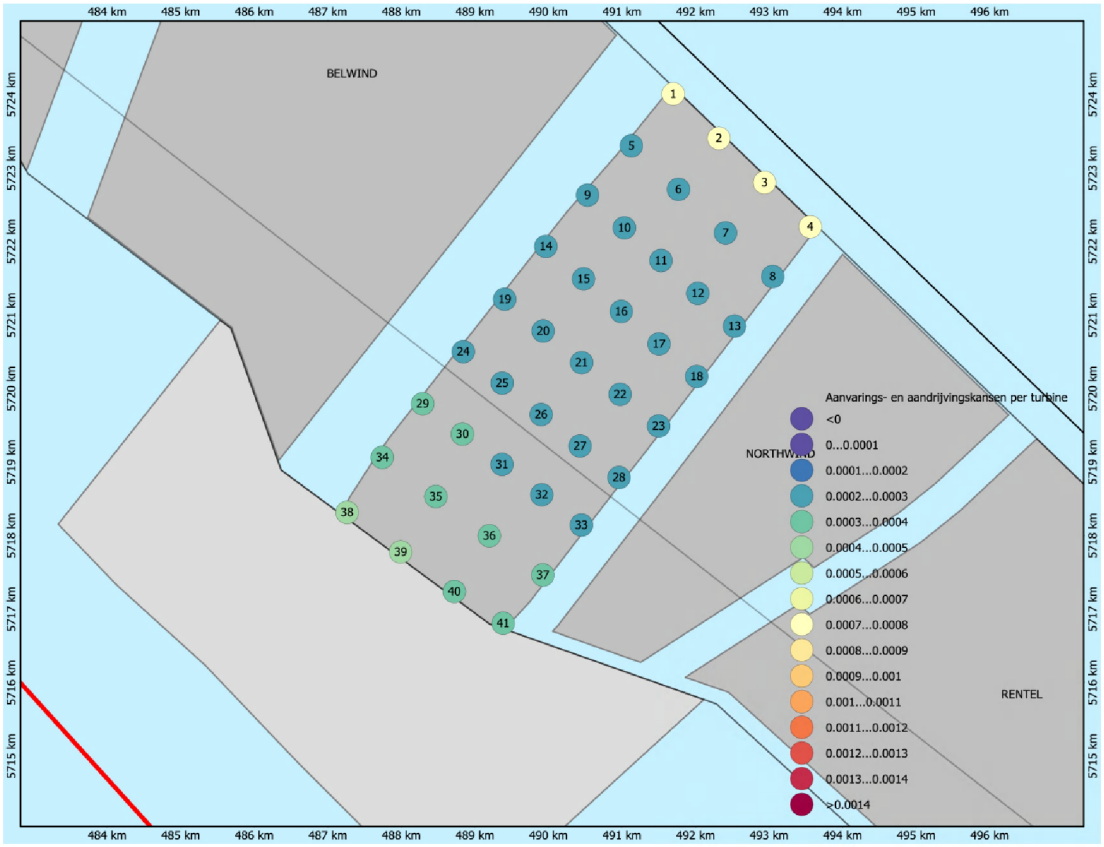
[7] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Abschlussberichts der Unterarbeitsgruppe "Parameter für Risikoanalysen"
BSH 2005

[8] W.H. van Iperen
Veiligheidsstudie Offshore Windpark “North Sea Power”
MARIN, NR 23307.620/1, 18 augustus 2010

[9] W.H. van Iperen
Veiligheidsstudie Offshore Windpark “North Sea Power”
MARIN, NR 23307.620/B3, 13 april 2011

APPENDIX A1:

Resultaten windpark SeaStar onder scenario 1-41



Figuur A1-1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine

Tabel A1-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 1-41

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.SeaStar_41	5139.9	252.7	0.000001	0.000498	0.000221	0.000059	0.000779	1284
002.SeaStar_41	5139.6	253.3	0.000001	0.000499	0.000219	0.000060	0.000779	1284
003.SeaStar_41	5139.3	253.8	0.000000	0.000506	0.000217	0.000060	0.000783	1277
004.SeaStar_41	5138.9	254.4	0.000000	0.000506	0.000216	0.000061	0.000783	1278
005.SeaStar_41	5139.5	252.2	0.000002	0.000036	0.000226	0.000031	0.000295	3390
006.SeaStar_41	5139.2	252.8	0.000001	0.000038	0.000224	0.000032	0.000295	3387
007.SeaStar_41	5138.9	253.3	0.000001	0.000040	0.000223	0.000034	0.000297	3369
008.SeaStar_41	5138.6	253.9	0.000000	0.000041	0.000220	0.000034	0.000296	3378
009.SeaStar_41	5139.2	251.7	0.000002	0.000005	0.000235	0.000025	0.000266	3756
010.SeaStar_41	5138.9	252.1	0.000001	0.000006	0.000232	0.000026	0.000265	3778
011.SeaStar_41	5138.7	252.6	0.000001	0.000006	0.000230	0.000027	0.000264	3782
012.SeaStar_41	5138.4	253.0	0.000001	0.000007	0.000237	0.000028	0.000273	3668
013.SeaStar_41	5138.2	253.5	0.000001	0.000007	0.000237	0.000030	0.000274	3644
014.SeaStar_41	5138.8	251.2	0.000003	0.000001	0.000245	0.000023	0.000272	3680
015.SeaStar_41	5138.6	251.7	0.000002	0.000001	0.000242	0.000024	0.000269	3719
016.SeaStar_41	5138.3	252.1	0.000002	0.000001	0.000239	0.000024	0.000266	3763
017.SeaStar_41	5138.1	252.6	0.000001	0.000001	0.000234	0.000025	0.000262	3818
018.SeaStar_41	5137.8	253.0	0.000001	0.000001	0.000233	0.000026	0.000261	3828
019.SeaStar_41	5138.4	250.8	0.000005	0.000000	0.000256	0.000021	0.000282	3541
020.SeaStar_41	5138.2	251.2	0.000003	0.000000	0.000253	0.000022	0.000279	3585
021.SeaStar_41	5137.9	251.7	0.000003	0.000000	0.000245	0.000023	0.000271	3691
022.SeaStar_41	5137.7	252.1	0.000002	0.000000	0.000243	0.000024	0.000270	3708
023.SeaStar_41	5137.5	252.6	0.000002	0.000000	0.000242	0.000025	0.000269	3720
024.SeaStar_41	5138.0	250.2	0.000008	0.000000	0.000263	0.000022	0.000293	3409
025.SeaStar_41	5137.8	250.7	0.000006	0.000000	0.000256	0.000022	0.000285	3512
026.SeaStar_41	5137.6	251.2	0.000005	0.000000	0.000253	0.000021	0.000279	3579
027.SeaStar_41	5137.3	251.6	0.000004	0.000000	0.000252	0.000022	0.000278	3599
028.SeaStar_41	5137.1	252.1	0.000004	0.000000	0.000250	0.000023	0.000276	3622
029.SeaStar_41	5137.6	249.8	0.000016	0.000001	0.000274	0.000023	0.000314	3185
030.SeaStar_41	5137.4	250.2	0.000013	0.000000	0.000268	0.000024	0.000305	3283
031.SeaStar_41	5137.2	250.7	0.000010	0.000000	0.000261	0.000024	0.000295	3386
032.SeaStar_41	5137.0	251.2	0.000008	0.000000	0.000255	0.000024	0.000287	3483
033.SeaStar_41	5136.7	251.7	0.000007	0.000000	0.000258	0.000023	0.000288	3471
034.SeaStar_41	5137.2	249.3	0.000036	0.000003	0.000291	0.000026	0.000355	2816
035.SeaStar_41	5136.9	249.9	0.000025	0.000001	0.000277	0.000026	0.000329	3038
036.SeaStar_41	5136.7	250.6	0.000018	0.000001	0.000272	0.000025	0.000317	3156
037.SeaStar_41	5136.4	251.2	0.000014	0.000000	0.000269	0.000025	0.000308	3245
038.SeaStar_41	5136.8	248.9	0.000081	0.000010	0.000310	0.000028	0.000429	2329
039.SeaStar_41	5136.5	249.5	0.000057	0.000006	0.000311	0.000028	0.000401	2493
040.SeaStar_41	5136.3	250.2	0.000043	0.000003	0.000289	0.000027	0.000362	2761
041.SeaStar_41	5136.0	250.7	0.000031	0.000002	0.000285	0.000026	0.000343	2913
Totaal per jaar			0.000421	0.002228	0.010263	0.001182	0.014095	71
Dit is eens in .. jaar			2374	449	97	846	71	

Tabel A1-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 1-41

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar
Routegebonden	0.000417	2398	0.010264	97	0.010681	94
Niet-routegebonden	0.002228	449	0.001183	845	0.003411	293
Totaal	0.002645	378	0.011447	87	0.014092	71

Tabel A1- 3 Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-41

Windpark	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.00042	0.00223	0.01026	0.00118	0.01409
Norther	0.02692	0.00242	0.04003	0.00277	0.07214
C-Power	0.00243	0.00073	0.01747	0.00144	0.02208
Rentel	0.00009	0.00311	0.01513	0.00199	0.02032
Northwind	0.00012	0.00128	0.01683	0.00173	0.01996
Belwind	0.01711	0.00228	0.03255	0.00217	0.05412
Totaal	0.04709	0.01205	0.13228	0.01129	0.20271

Tabel A1- 4 Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-41

Windpark	Rammen		Driften		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.9%	18.5%	7.8%	10.5%	7.0%
Norther	57.2%	20.1%	30.3%	24.5%	35.6%
C-Power	5.2%	6.1%	13.2%	12.7%	10.9%
Rentel	0.2%	25.8%	11.4%	17.7%	10.0%
Northwind	0.3%	10.6%	12.7%	15.3%	9.8%
Belwind	36.3%	18.9%	24.6%	19.3%	26.7%
Totaal	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

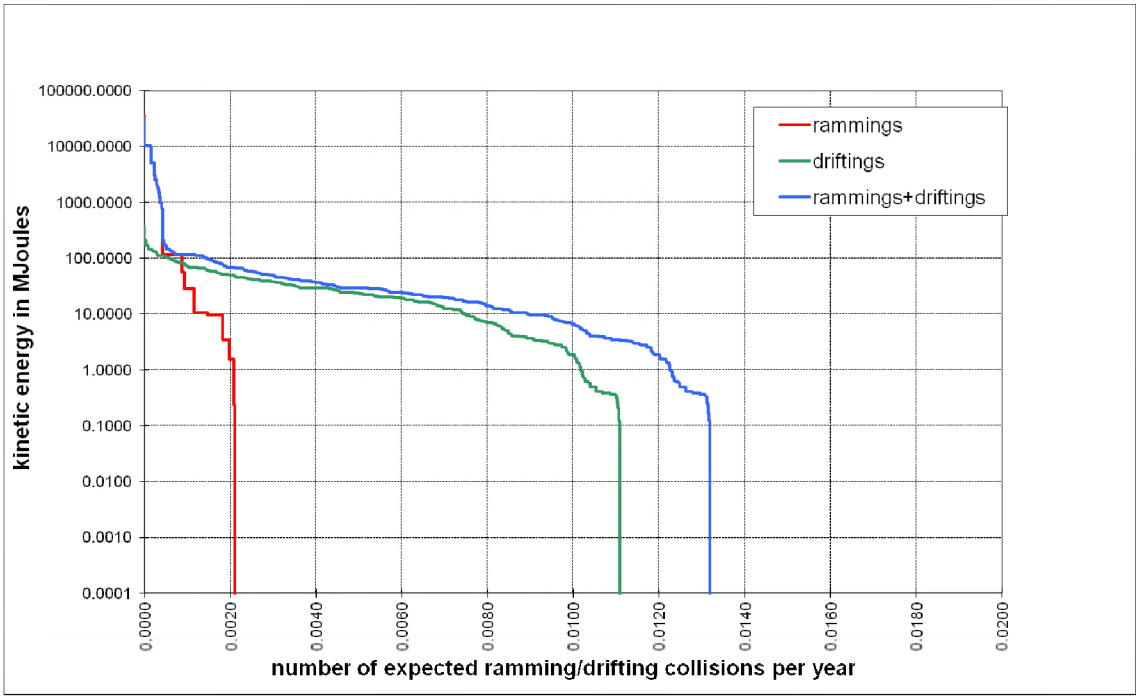
Tabel A1-5 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen

Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos[3]	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000001	0.000819	0.000018	0.000838
Chemicaliën tanker	0.000001	0.001659	0.000007	0.001667
Gastanker	0.000000	0.000363	0.000000	0.000362
Container+ RoRo	0.000035	0.004835	0.000311	0.005181
Ferry	0.000001	0.000053	0.000043	0.000097
Overige R-schepen	0.000005	0.002196	0.000337	0.002538
N-schepen	0.000026	0.000004	0.003380	0.003410
Totaal	0.000067	0.009929	0.004097	0.014093

Tabel A1-6 Schade aan het totale windpark SeaStar

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de … jaar
	frontaal		Schampen							
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Geen	0.000000	0.000149	0.000000	0.001541	0.000624	0.001179	0.000624	0.002869	0.003493	286
Scheef	0.000000	0.000022	0.000000	0.000048	0.002544	0.000004	0.002544	0.000074	0.002618	382
Omvallen	0.000038	0.000047	0.000341	0.000396	0.007096	0.000000	0.007475	0.000443	0.007918	126
GosMos[1]	0.000004	0.000005	0.000038	0.000021	0.000000	0.000000	0.000042	0.000026	0.000068	14782
Totaal	0.000042	0.000223	0.000379	0.002005	0.010264	0.001183	0.010685	0.003411	0.014096	71

[3] Gondel en mastdeel valt op schip na plastische vervorming



Figuur A1-2 ***Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)***

Tabel A1-7 ***Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines***

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	3.9%	3.9%	0.8%	8.3%	9.1%	0.8%	12.3%	13.0%
1-3	0.0%	0.8%	0.8%	5.1%	0.1%	5.1%	5.1%	0.9%	5.9%
3-5	0.0%	1.1%	1.1%	6.8%	0.0%	6.8%	6.8%	1.1%	7.9%
5-10	0.0%	2.5%	2.5%	7.2%	0.0%	7.2%	7.2%	2.5%	9.7%
10-15	0.0%	2.3%	2.3%	4.8%	0.0%	4.8%	4.8%	2.3%	7.2%
15-50	0.0%	1.5%	1.5%	33.7%	0.0%	33.7%	33.7%	1.5%	35.2%
50-100	0.0%	0.4%	0.4%	10.4%	0.0%	10.4%	10.4%	0.4%	10.7%
100-200	0.0%	3.3%	3.3%	3.9%	0.0%	3.9%	3.9%	3.3%	7.2%
>200	3.0%	0.0%	3.0%	0.2%	0.0%	0.2%	3.2%	0.0%	3.2%
Totaal	3.0%	15.8%	18.8%	72.8%	8.4%	81.2%	75.8%	24.2%	100.0%

Tabel A1-8 ***Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine***

Uitstroom van bunkerolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 1-41		
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
0.01-20	0.000002	472485	0.000
20-150	0.000108	9246	0.010
150-750	0.000281	3564	0.124
750-3000	0.000143	6993	0.208
3000-10000	0.000009	112997	0.033
Totaal	0.000543	1843	0.374

Tabel A1-9 ***Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine***

Uitstroom van ladingolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 1-41		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000010	97193	0.005
750-3000	0.000033	29969	0.081
3000-10000	0.000076	13126	0.484
10000-30000	0.000010	100556	0.155
30000-100000	0.000000	4266725	0.007
Totaal	0.000130	7691	0.733

Tabel A1-10 ***Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine***

Windpark SeaStar scenario 1-41	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Eens in de … jaar
Verkeer 2012	0.000543	1843	0.374	0.000130	7691	0.733	1486

Tabel A1-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine

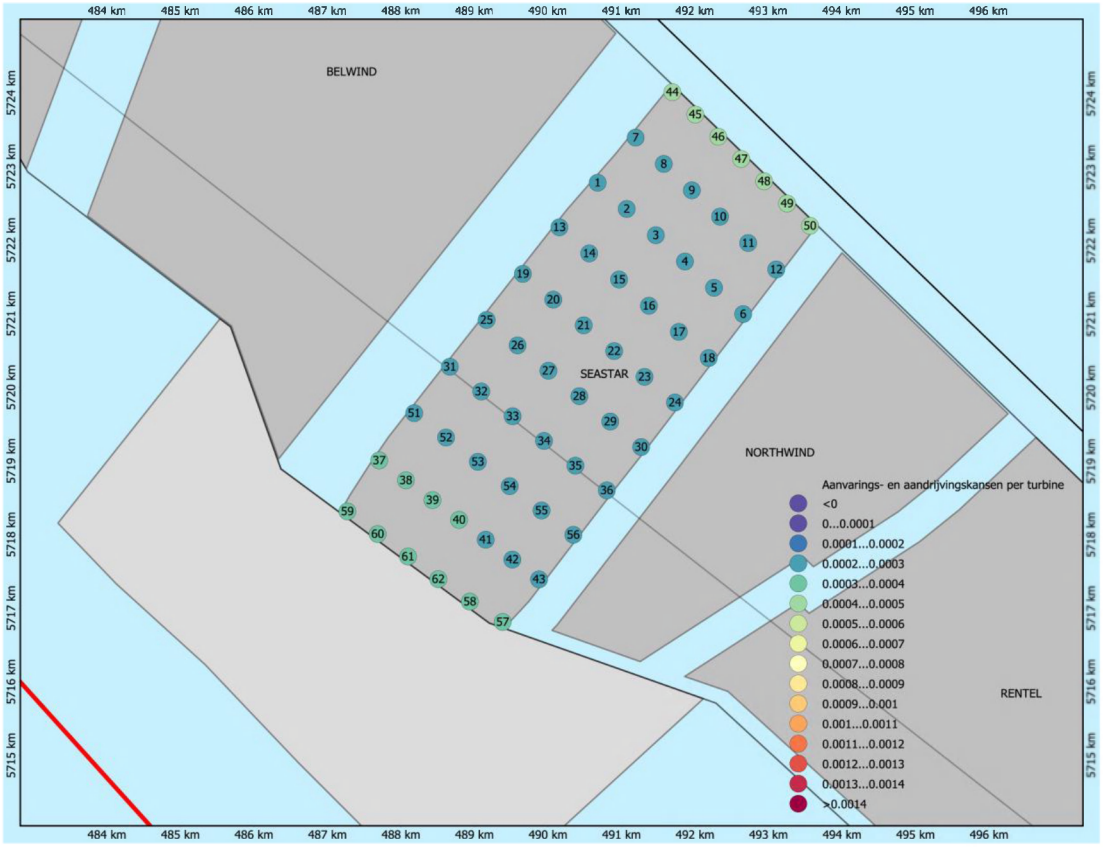
Ecologische risico-indicator	Verkeer 2012
Zeer hoog ecologisch risico	0.000038
Hoog ecologisch risico	0.000007
Gemiddeld ecologische risico	0.000012
Gering ecologisch risico	0.000070
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000049
Totaal	0.000176
Eens in de … jaar	5691

Tabel A1-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de …jaar	Directe doden		Groepsrisico
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	Eens in de … jaar meer dan 10 doden
Olietanker	0.000000	0.000001	1000000	1.01	0.000001	
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000001	1666667	1.24	0.000001	1666667
Gastanker	0.000000	0.000000	10000000	0.97	0.000000	10000000
Container + RoRo	0.000003	0.000031	28848	5.91	0.000205	
Ferry	0.000000	0.000001	1428571	53.32	0.000037	1428571
Overige R-schepen	0.000000	0.000004	222222	1.04	0.000005	
N-schepen	0.000005	0.000021	38865	0.19	0.000005	
Totaal	0.000009	0.000058	14860	3.77	0.000253	714286

APPENDIX A2:

Resultaten windpark SeaStar onder scenario 1-62



Figuur A2-1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine

Tabel A2-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 1-62

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.SeaStar_62	5139.2	251.8	0.000001	0.000004	0.000223	0.000022	0.000249	4009
002.SeaStar_62	5139.1	252.2	0.000001	0.000004	0.000220	0.000022	0.000247	4048
003.SeaStar_62	5138.9	252.5	0.000001	0.000004	0.000219	0.000022	0.000246	4072
004.SeaStar_62	5138.7	252.9	0.000001	0.000004	0.000217	0.000022	0.000244	4103
005.SeaStar_62	5138.5	253.2	0.000000	0.000004	0.000223	0.000022	0.000250	3996
006.SeaStar_62	5138.3	253.6	0.000000	0.000004	0.000221	0.000023	0.000248	4026
007.SeaStar_62	5139.6	252.3	0.000001	0.000018	0.000214	0.000026	0.000259	3861
008.SeaStar_62	5139.4	252.6	0.000001	0.000018	0.000213	0.000027	0.000259	3866
009.SeaStar_62	5139.2	252.9	0.000001	0.000019	0.000212	0.000027	0.000258	3882
010.SeaStar_62	5139.0	253.3	0.000000	0.000019	0.000211	0.000027	0.000257	3893
011.SeaStar_62	5138.8	253.6	0.000000	0.000019	0.000211	0.000027	0.000258	3883
012.SeaStar_62	5138.6	253.9	0.000000	0.000019	0.000210	0.000027	0.000257	3889
013.SeaStar_62	5138.9	251.4	0.000002	0.000001	0.000230	0.000020	0.000252	3970
014.SeaStar_62	5138.7	251.7	0.000001	0.000001	0.000227	0.000020	0.000249	4013
015.SeaStar_62	5138.5	252.1	0.000001	0.000001	0.000224	0.000020	0.000246	4073
016.SeaStar_62	5138.3	252.4	0.000001	0.000001	0.000222	0.000020	0.000244	4099
017.SeaStar_62	5138.1	252.8	0.000001	0.000001	0.000221	0.000020	0.000243	4118

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
018.SeaStar_62	5138.0	253.2	0.000001	0.000001	0.000221	0.000021	0.000243	4123
019.SeaStar_62	5138.6	250.9	0.000003	0.000000	0.000240	0.000018	0.000261	3837
020.SeaStar_62	5138.4	251.3	0.000002	0.000000	0.000237	0.000018	0.000257	3884
021.SeaStar_62	5138.2	251.7	0.000002	0.000000	0.000234	0.000018	0.000254	3944
022.SeaStar_62	5138.0	252.0	0.000001	0.000000	0.000229	0.000018	0.000249	4020
023.SeaStar_62	5137.8	252.4	0.000001	0.000000	0.000228	0.000018	0.000248	4039
024.SeaStar_62	5137.6	252.7	0.000001	0.000000	0.000227	0.000018	0.000246	4062
025.SeaStar_62	5138.2	250.5	0.000004	0.000000	0.000246	0.000016	0.000266	3762
026.SeaStar_62	5138.1	250.9	0.000004	0.000000	0.000243	0.000016	0.000263	3806
027.SeaStar_62	5137.9	251.2	0.000003	0.000000	0.000239	0.000017	0.000258	3871
028.SeaStar_62	5137.7	251.6	0.000002	0.000000	0.000237	0.000017	0.000256	3907
029.SeaStar_62	5137.5	252.0	0.000002	0.000000	0.000235	0.000017	0.000255	3927
030.SeaStar_62	5137.3	252.4	0.000002	0.000000	0.000232	0.000017	0.000251	3985
031.SeaStar_62	5137.9	250.1	0.000008	0.000000	0.000253	0.000018	0.000279	3584
032.SeaStar_62	5137.7	250.5	0.000006	0.000000	0.000249	0.000017	0.000273	3669
033.SeaStar_62	5137.5	250.8	0.000005	0.000000	0.000246	0.000017	0.000269	3717
034.SeaStar_62	5137.4	251.2	0.000004	0.000000	0.000242	0.000017	0.000264	3791
035.SeaStar_62	5137.2	251.6	0.000004	0.000000	0.000239	0.000017	0.000260	3851
036.SeaStar_62	5137.0	252.0	0.000003	0.000000	0.000241	0.000016	0.000261	3833
037.SeaStar_62	5137.2	249.3	0.000028	0.000001	0.000280	0.000021	0.000330	3033
038.SeaStar_62	5137.1	249.6	0.000024	0.000001	0.000272	0.000021	0.000317	3155
039.SeaStar_62	5136.9	249.9	0.000020	0.000001	0.000266	0.000021	0.000308	3251
040.SeaStar_62	5136.8	250.2	0.000017	0.000001	0.000264	0.000021	0.000303	3300
041.SeaStar_62	5136.6	250.5	0.000015	0.000000	0.000262	0.000021	0.000299	3348
042.SeaStar_62	5136.5	250.8	0.000013	0.000000	0.000258	0.000021	0.000292	3429
043.SeaStar_62	5136.3	251.2	0.000011	0.000000	0.000258	0.000020	0.000290	3447
044.SeaStar_62	5139.9	252.7	0.000001	0.000219	0.000211	0.000046	0.000476	2100
045.SeaStar_62	5139.7	253.0	0.000001	0.000218	0.000210	0.000046	0.000475	2105
046.SeaStar_62	5139.6	253.3	0.000001	0.000223	0.000209	0.000047	0.000479	2089
047.SeaStar_62	5139.4	253.5	0.000000	0.000223	0.000207	0.000046	0.000476	2099
048.SeaStar_62	5139.3	253.8	0.000000	0.000223	0.000206	0.000046	0.000476	2101
049.SeaStar_62	5139.1	254.1	0.000000	0.000223	0.000205	0.000047	0.000476	2102
050.SeaStar_62	5138.9	254.4	0.000000	0.000223	0.000204	0.000047	0.000475	2105
051.SeaStar_62	5137.6	249.7	0.000014	0.000000	0.000262	0.000019	0.000296	3378
052.SeaStar_62	5137.4	250.0	0.000012	0.000000	0.000260	0.000019	0.000291	3440
053.SeaStar_62	5137.2	250.4	0.000010	0.000000	0.000255	0.000019	0.000284	3519
054.SeaStar_62	5137.0	250.8	0.000008	0.000000	0.000249	0.000019	0.000276	3626
055.SeaStar_62	5136.8	251.2	0.000007	0.000000	0.000246	0.000019	0.000271	3685
056.SeaStar_62	5136.7	251.5	0.000006	0.000000	0.000247	0.000018	0.000272	3681
057.SeaStar_62	5136.0	250.7	0.000023	0.000001	0.000271	0.000023	0.000318	3141
058.SeaStar_62	5136.2	250.3	0.000029	0.000001	0.000273	0.000023	0.000326	3067
059.SeaStar_62	5136.8	248.9	0.000060	0.000005	0.000295	0.000022	0.000382	2620
060.SeaStar_62	5136.7	249.3	0.000049	0.000004	0.000292	0.000023	0.000367	2725
061.SeaStar_62	5136.5	249.6	0.000040	0.000003	0.000288	0.000023	0.000354	2824
Totaal per jaar			0.000496	0.001713	0.014765	0.001446	0.018420	54
Dit is eens in .. jaar			2015	584	68	692	54	

Tabel A2-2 ***Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 1-62***

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar
Routegebonden	0.000493	2028	0.014766	68	0.015259	66
Niet-routegebonden	0.001711	584	0.001446	692	0.003157	317
Totaal	0.002204	454	0.016212	62	0.018416	54

Tabel A2- 3 ***Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-62***

Windpark	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.00049	0.00171	0.01477	0.00145	0.01842
Norther	0.02692	0.00242	0.04003	0.00277	0.07214
C-Power	0.00243	0.00073	0.01747	0.00144	0.02208
Rentel	0.00009	0.00311	0.01513	0.00199	0.02032
Northwind	0.00012	0.00128	0.01683	0.00173	0.01996
Belwind	0.01711	0.00228	0.03255	0.00217	0.05412
Totaal	0.04717	0.01153	0.13678	0.01155	0.20703

Tabel A2- 4 ***Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 1-62***

Windpark	Rammen		Driften		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	1.0%	14.8%	10.8%	12.5%	8.9%
Norther	57.1%	21.0%	29.3%	24.0%	34.8%
C-Power	5.2%	6.4%	12.8%	12.5%	10.7%
Rentel	0.2%	26.9%	11.1%	17.3%	9.8%
Northwind	0.3%	11.1%	12.3%	15.0%	9.6%
Belwind	36.3%	19.7%	23.8%	18.8%	26.1%
Totaal	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabel A2-5 ***Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen***

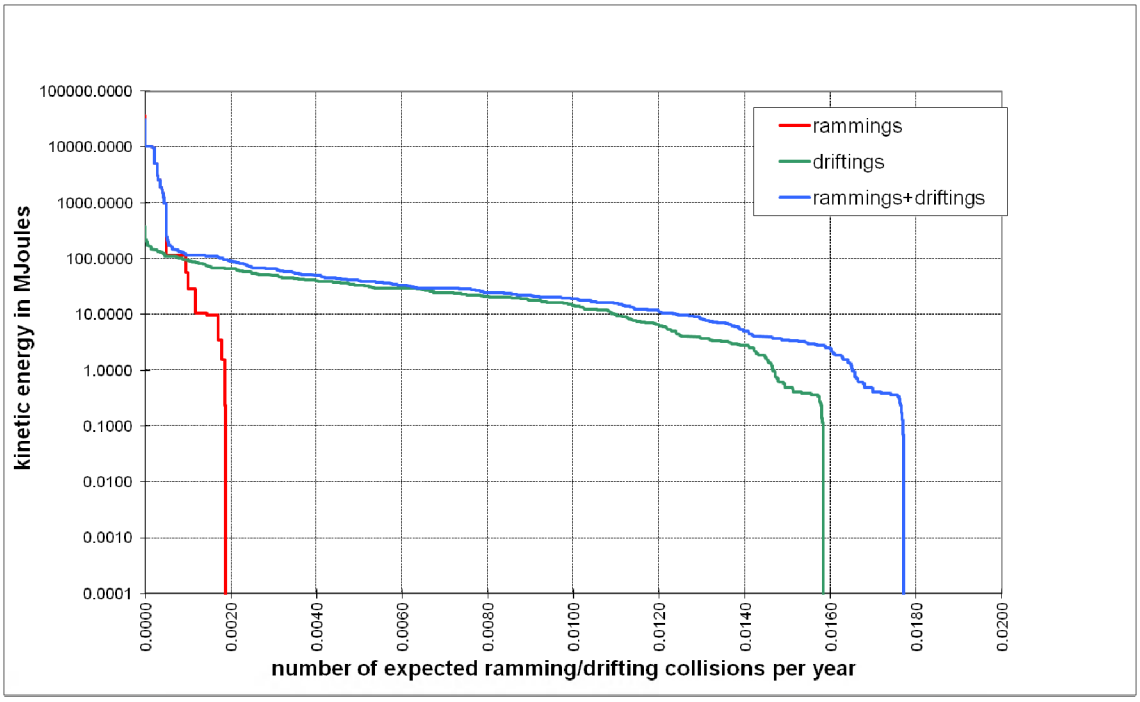
Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos[4]	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000001	0.001204	0.000020	0.001225
Chemicaliën tanker	0.000001	0.002380	0.000003	0.002384
Gastanker	0.000000	0.000509	0.000003	0.000512
Container+ RoRo	0.000041	0.007088	0.000373	0.007502
Ferry	0.000001	0.000078	0.000052	0.000131
Overige R-schepen	0.000005	0.003093	0.000410	0.003508

[4] Gondel en mastdeel valt op schip na plastische vervorming

N-schepen	0.000025	0.000006	0.003128	0.003159
Totaal	0.000075	0.014358	0.003988	0.018421

Tabel A2-6 Schade aan het totale windpark SeaStar

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de … jaar
	Frontaal		Schampen							
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Geen	0.000000	0.000103	0.000000	0.001088	0.000788	0.001440	0.000788	0.002631	0.003419	292
Scheef	0.000000	0.000018	0.000000	0.000041	0.003542	0.000006	0.003542	0.000064	0.003606	277
Omvallen	0.000045	0.000045	0.000403	0.000391	0.010435	0.000000	0.010882	0.000436	0.011319	88
GosMos[1]	0.000005	0.000005	0.000045	0.000021	0.000000	0.000000	0.000050	0.000025	0.000075	13355
Totaal	0.000050	0.000171	0.000447	0.001540	0.014765	0.001446	0.015262	0.003157	0.018419	54



Figuur A2-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)

Tabel A2-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	1.9%	1.9%	0.7%	7.8%	8.5%	0.7%	9.7%	10.4%
1-3	0.0%	0.4%	0.4%	5.1%	0.1%	5.2%	5.1%	0.4%	5.6%
3-5	0.0%	0.5%	0.5%	7.1%	0.0%	7.1%	7.1%	0.5%	7.6%
5-10	0.0%	1.4%	1.4%	7.8%	0.0%	7.8%	7.8%	1.4%	9.2%
10-15	0.0%	1.4%	1.4%	5.3%	0.0%	5.3%	5.3%	1.4%	6.8%
15-50	0.0%	1.0%	1.0%	37.7%	0.0%	37.7%	37.7%	1.0%	38.7%
50-100	0.0%	0.2%	0.2%	11.7%	0.0%	11.7%	11.7%	0.2%	12.0%

100-200	0.0%	2.5%	2.5%	4.5%	0.0%	4.5%	4.5%	2.5%	6.9%
>200	2.7%	0.0%	2.7%	0.2%	0.0%	0.2%	2.9%	0.0%	2.9%
Totaal	2.7%	9.3%	12.0%	80.2%	7.9%	88.0%	82.8%	17.2%	100.0%

Tabel A2-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Uitstroom van bunkerolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 1-62		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
0.01-20	0.000003	360107	0.000
20-150	0.000151	6631	0.014
150-750	0.000407	2458	0.181
750-3000	0.000212	4714	0.309
3000-10000	0.000013	74957	0.049
Totaal	0.000786	1272	0.553

Tabel A2-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Uitstroom van ladingolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 1-62		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000014	69243	0.007
750-3000	0.000048	20634	0.118
3000-10000	0.000113	8820	0.722
10000-30000	0.000015	67779	0.230
30000-100000	0.000000	2879560	0.011
Totaal	0.000191	5225	1.088

Tabel A2-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine

Windpark SeaStar scenario 1-62	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Eens in de … jaar
Verkeer 2012	0.000786	1272	0.553	0.000191	5225	1.088	1023

Tabel A2-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine

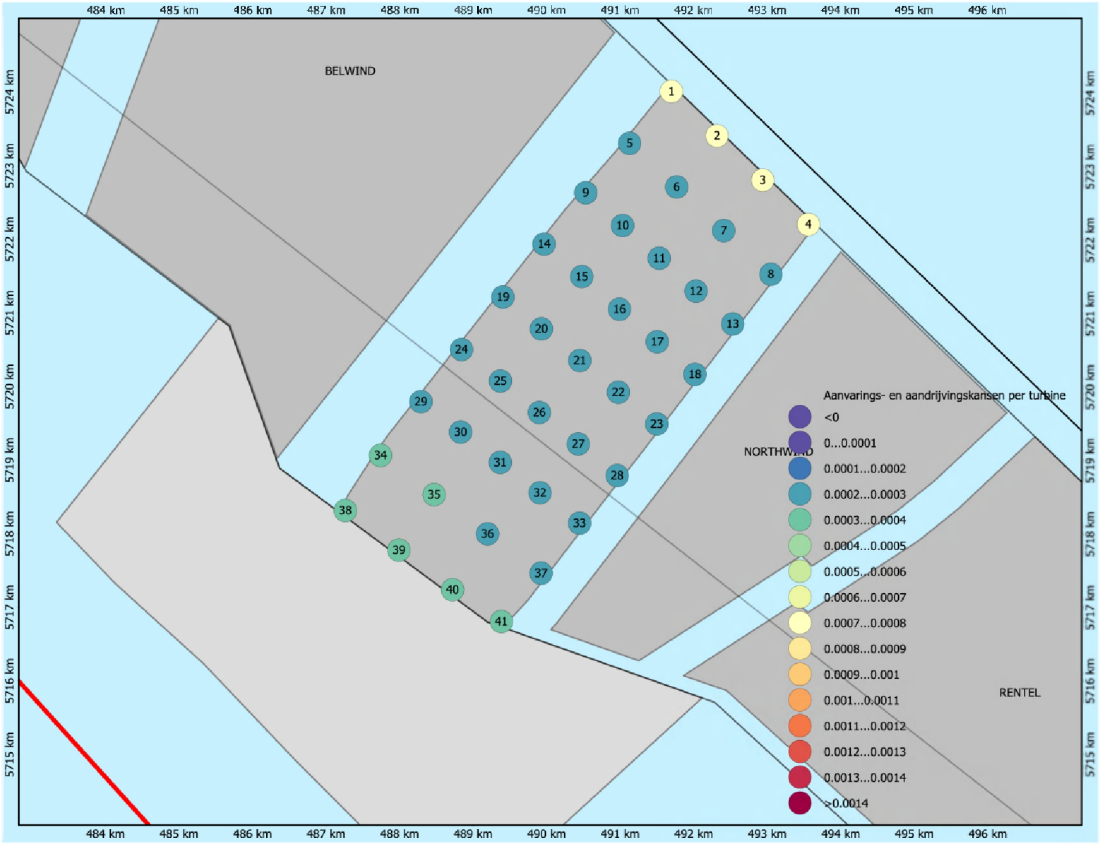
Ecologische risico-indicator	Verkeer 2012
Zeer hoog ecologisch risico	0.000039
Hoog ecologisch risico	0.000006
Gemiddeld ecologische risico	0.000011
Gering ecologisch risico	0.000069
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000041
Totaal	0.000167
Eens in de … jaar	5999

Tabel A2-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de …jaar	Directe doden		Groepsrisico
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	Eens in de … jaar meer dan 10 doden
Olietanker	0.000000	0.000001	833333	1.00	0.000001	
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000001	1666667	1.24	0.000001	1666667
Gastanker	0.000000	0.000000	10000000	0.97	0.000000	10000000
Container + RoRo	0.000004	0.000037	24207	5.61	0.000232	
Ferry	0.000000	0.000001	1428571	53.32	0.000037	1428571
Overige R-schepen	0.000001	0.000005	188679	1.04	0.000005	
N-schepen	0.000005	0.000021	39432	0.19	0.000005	
Totaal	0.000010	0.000065	13410	3.78	0.000282	714286

APPENDIX A3:

Resultaten windpark SeaStar onder scenario 2-41



Figuur A3-1 *Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine*

Tabel A3-1 *Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 2-41*

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.SeaStar_41	5139.9	252.7	0.000002	0.000498	0.000210	0.000059	0.000768	1302
002.SeaStar_41	5139.6	253.3	0.000002	0.000499	0.000209	0.000060	0.000769	1300
003.SeaStar_41	5139.3	253.8	0.000002	0.000506	0.000207	0.000060	0.000774	1292
004.SeaStar_41	5138.9	254.4	0.000001	0.000506	0.000208	0.000061	0.000776	1289
005.SeaStar_41	5139.5	252.2	0.000003	0.000032	0.000215	0.000030	0.000281	3564
006.SeaStar_41	5139.2	252.8	0.000002	0.000034	0.000213	0.000032	0.000282	3552
007.SeaStar_41	5138.9	253.3	0.000002	0.000035	0.000214	0.000033	0.000285	3511
008.SeaStar_41	5138.6	253.9	0.000002	0.000037	0.000217	0.000034	0.000289	3456
009.SeaStar_41	5139.2	251.7	0.000002	0.000004	0.000223	0.000025	0.000255	3929
010.SeaStar_41	5138.9	252.1	0.000002	0.000005	0.000222	0.000026	0.000256	3914
011.SeaStar_41	5138.7	252.6	0.000003	0.000005	0.000223	0.000027	0.000258	3873
012.SeaStar_41	5138.4	253.0	0.000003	0.000006	0.000231	0.000028	0.000267	3748
013.SeaStar_41	5138.2	253.5	0.000002	0.000006	0.000228	0.000029	0.000266	3754
014.SeaStar_41	5138.8	251.2	0.000004	0.000001	0.000233	0.000023	0.000261	3832
015.SeaStar_41	5138.6	251.7	0.000004	0.000001	0.000232	0.000024	0.000260	3844
016.SeaStar_41	5138.3	252.1	0.000002	0.000001	0.000232	0.000024	0.000259	3866
017.SeaStar_41	5138.1	252.6	0.000002	0.000001	0.000225	0.000025	0.000254	3944
018.SeaStar_41	5137.8	253.0	0.000002	0.000001	0.000225	0.000026	0.000254	3931
019.SeaStar_41	5138.4	250.8	0.000005	0.000000	0.000244	0.000022	0.000271	3694

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
020.SeaStar_41	5138.2	251.2	0.000004	0.000000	0.000244	0.000022	0.000271	3697
021.SeaStar_41	5137.9	251.7	0.000004	0.000000	0.000239	0.000023	0.000266	3765
022.SeaStar_41	5137.7	252.1	0.000003	0.000000	0.000235	0.000024	0.000263	3808
023.SeaStar_41	5137.5	252.6	0.000003	0.000000	0.000237	0.000025	0.000265	3775
024.SeaStar_41	5138.0	250.2	0.000006	0.000000	0.000253	0.000020	0.000279	3579
025.SeaStar_41	5137.8	250.7	0.000006	0.000000	0.000254	0.000021	0.000280	3567
026.SeaStar_41	5137.6	251.2	0.000005	0.000000	0.000246	0.000021	0.000272	3681
027.SeaStar_41	5137.3	251.6	0.000005	0.000000	0.000246	0.000022	0.000273	3665
028.SeaStar_41	5137.1	252.1	0.000004	0.000000	0.000246	0.000022	0.000272	3673
029.SeaStar_41	5137.6	249.8	0.000009	0.000000	0.000264	0.000021	0.000293	3411
030.SeaStar_41	5137.4	250.2	0.000008	0.000000	0.000255	0.000020	0.000283	3527
031.SeaStar_41	5137.2	250.7	0.000007	0.000000	0.000255	0.000020	0.000282	3546
032.SeaStar_41	5137.0	251.2	0.000006	0.000000	0.000250	0.000022	0.000277	3606
033.SeaStar_41	5136.7	251.7	0.000005	0.000000	0.000252	0.000021	0.000278	3596
034.SeaStar_41	5137.2	249.3	0.000019	0.000000	0.000274	0.000021	0.000314	3182
035.SeaStar_41	5136.9	249.9	0.000016	0.000000	0.000270	0.000022	0.000307	3253
036.SeaStar_41	5136.7	250.6	0.000013	0.000000	0.000263	0.000022	0.000297	3364
037.SeaStar_41	5136.4	251.2	0.000011	0.000000	0.000264	0.000021	0.000296	3379
038.SeaStar_41	5136.8	248.9	0.000044	0.000000	0.000300	0.000023	0.000367	2724
039.SeaStar_41	5136.5	249.5	0.000035	0.000000	0.000289	0.000023	0.000348	2877
040.SeaStar_41	5136.3	250.2	0.000028	0.000000	0.000285	0.000024	0.000338	2959
041.SeaStar_41	5136.0	250.7	0.000023	0.000000	0.000278	0.000023	0.000325	3079
Totaal per jaar			0.000309	0.002181	0.009910	0.001130	0.013530	74
Dit is eens in .. jaar			3237	458	101	885	74	

Tabel A3-2 ***Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 2-41***

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar
Routegebonden	0.000303	3300	0.009911	101	0.010214	98
Niet-routegebonden	0.002181	459	0.001131	884	0.003312	302
Totaal	0.002484	403	0.011042	91	0.013526	74

Tabel A3- 3 ***Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-41***

Windpark	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.00030	0.00218	0.00991	0.00113	0.01353
Norther	0.02686	0.00242	0.03998	0.00277	0.07202
C-Power	0.00234	0.00073	0.01742	0.00144	0.02192
Rentel	0.00009	0.00299	0.01503	0.00199	0.02011
Northwind	0.00016	0.00124	0.01659	0.00171	0.01970
Belwind	0.00099	0.00167	0.02761	0.00203	0.03231
Mermaid	0.02142	0.00293	0.02415	0.00206	0.05056
Totaal	0.05216	0.01416	0.15069	0.01312	0.23014

Tabel A3- 4 ***Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-41***

Windpark	Rammen		Driften		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.6%	15.4%	6.6%	8.6%	5.9%
Norther	51.5%	17.1%	26.5%	21.1%	31.3%
C-Power	4.5%	5.2%	11.6%	11.0%	9.5%
Rentel	0.2%	21.1%	10.0%	15.1%	8.7%
Northwind	0.3%	8.8%	11.0%	13.0%	8.6%
Belwind	1.9%	11.8%	18.3%	15.5%	14.0%
Mermaid	41.1%	20.7%	16.0%	15.7%	22.0%
Totaal	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabel A3-5 ***Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen***

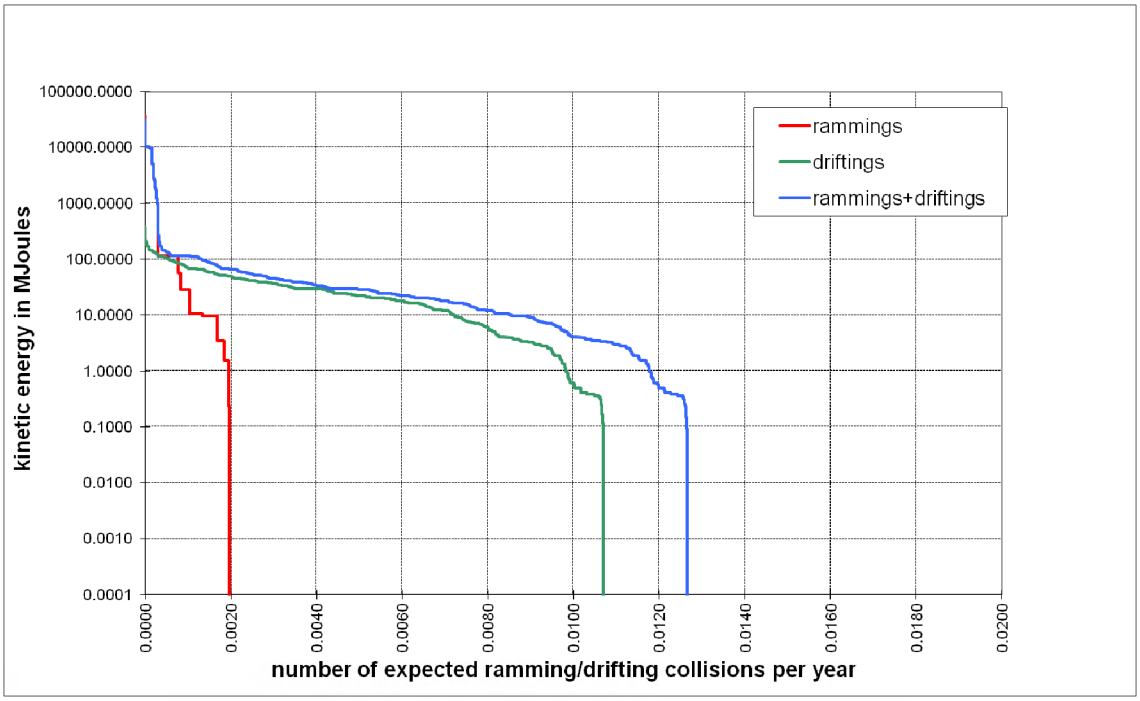
Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos[5]	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000001	0.000796	0.000019	0.000816
Chemicaliën tanker	0.000001	0.001590	0.000007	0.001598
Gastanker	0.000000	0.000356	0.000000	0.000356
Container+ RoRo	0.000026	0.004649	0.000231	0.004906
Ferry	0.000001	0.000051	0.000043	0.000094
Overige R-schepen	0.000002	0.002138	0.000309	0.002449
N-schepen	0.000026	0.000004	0.003281	0.003311

[5] Gondel en mastdeel valt op schip na plastische vervorming

Totaal	0.000056	0.009584	0.003890	0.013530

Tabel A3-6 Schade aan het totale windpark SeaStar

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de … jaar
	frontaal		Schampen							
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Geen	0.000000	0.000145	0.000000	0.001499	0.000611	0.001127	0.000611	0.002770	0.003381	296
Scheef	0.000000	0.000022	0.000000	0.000048	0.002469	0.000004	0.002469	0.000074	0.002543	393
Omvallen	0.000028	0.000047	0.000250	0.000396	0.006831	0.000000	0.007109	0.000443	0.007552	132
GosMos[1]	0.000003	0.000005	0.000028	0.000021	0.000000	0.000000	0.000031	0.000026	0.000057	17673
Totaal	0.000031	0.000218	0.000278	0.001963	0.009911	0.001131	0.010220	0.003312	0.013532	74



Figuur A3-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)

Tabel A3-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle SeaStar windturbines

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	3.9%	3.9%	0.8%	8.3%	9.0%	0.8%	12.2%	13.0%
1-3	0.0%	0.8%	0.8%	5.2%	0.1%	5.3%	5.2%	0.9%	6.1%
3-5	0.0%	1.1%	1.1%	6.9%	0.0%	6.9%	6.9%	1.1%	8.0%
5-10	0.0%	2.6%	2.6%	7.3%	0.0%	7.3%	7.3%	2.6%	9.9%
10-15	0.0%	2.2%	2.2%	4.8%	0.0%	4.8%	4.8%	2.2%	7.1%
15-50	0.0%	1.6%	1.6%	33.7%	0.0%	33.7%	33.7%	1.6%	35.3%
50-100	0.0%	0.4%	0.4%	10.4%	0.0%	10.4%	10.4%	0.4%	10.8%
100-200	0.0%	3.4%	3.4%	3.9%	0.0%	3.9%	3.9%	3.4%	7.3%
>200	2.2%	0.0%	2.2%	0.2%	0.0%	0.2%	2.5%	0.0%	2.5%

Totaal	2.2%	16.1%	18.4%	73.3%	8.4%	81.6%	75.5%	24.5%	100.0%

Tabel A3-8 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Uitstroom van bunkerolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 2-41		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
0.01-20	0.000002	479534	0.000
20-150	0.000105	9526	0.009
150-750	0.000271	3688	0.120
750-3000	0.000137	7288	0.199
3000-10000	0.000009	117379	0.031
Totaal	0.000524	1909	0.361

Tabel A3-9 Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Uitstroom van ladingolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 2-41		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000010	99153	0.005
750-3000	0.000032	31581	0.077
3000-10000	0.000076	13204	0.483
10000-30000	0.000010	100521	0.155
30000-100000	0.000000	4266993	0.007
Totaal	0.000128	7833	0.728

Tabel A3-10 Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine

Windpark SeaStar scenario 2-41	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Eens in de … jaar
Verkeer 2012	0.000524	1909	0.361	0.000128	7833	0.728	1535

Tabel A3-11 ***Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine***

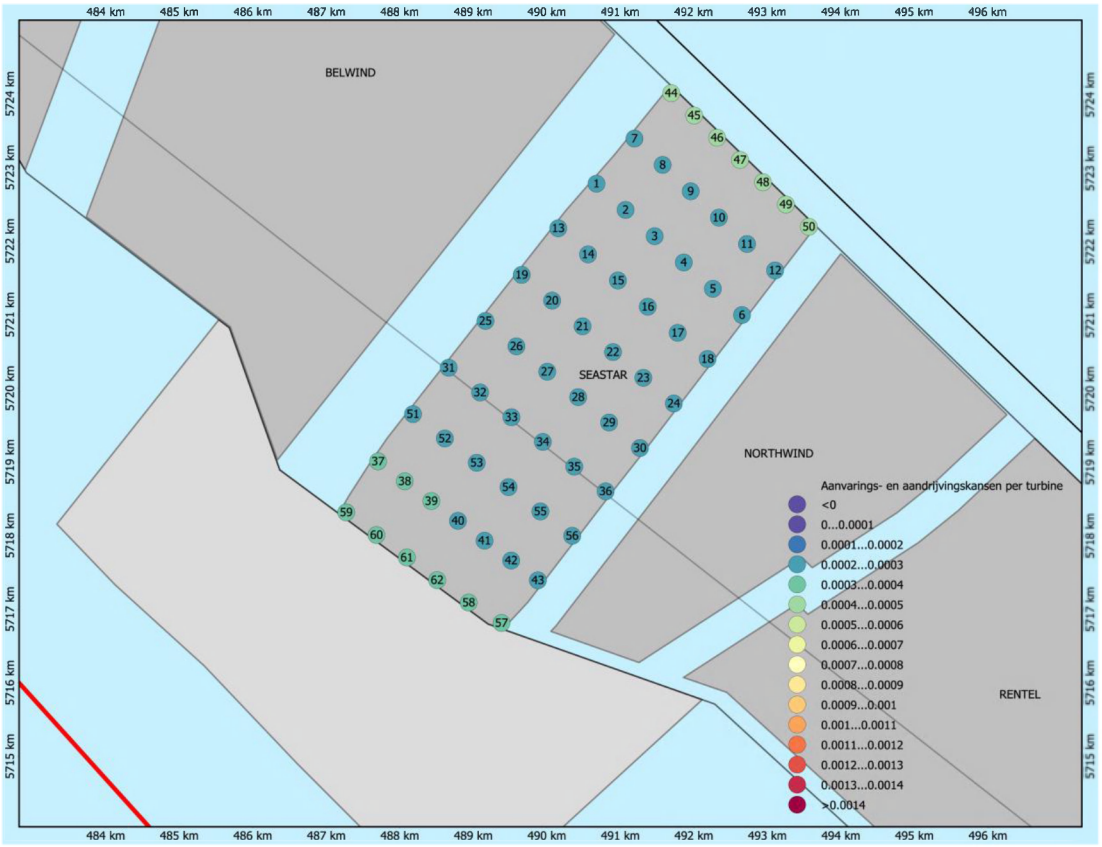
Ecologische risico-indicator	Verkeer 2012
Zeer hoog ecologisch risico	0.000027
Hoog ecologisch risico	0.000004
Gemiddeld ecologische risico	0.000007
Gering ecologisch risico	0.000048
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000027
Totaal	0.000113
Eens in de … jaar	8827

Tabel A3-12 ***Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt***

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de …jaar	Directe doden		Groepsrisico
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	Eens in de … jaar meer dan 10 doden
Olietanker	0.000000	0.000001	909091	1.00	0.000001	
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000001	1666667	1.24	0.000001	1666667
Gastanker	0.000000	0.000000			0.000000	
Container + RoRo	0.000003	0.000023	38979	4.59	0.000118	
Ferry	0.000000	0.000000	2000000	51.78	0.000026	2000000
Overige R-schepen	0.000000	0.000002	416667	1.04	0.000002	
N-schepen	0.000005	0.000021	38865	0.19	0.000005	
Totaal	0.000008	0.000048	17862	2.73	0.000153	909091

APPENDIX A4:

Resultaten windpark SeaStar onder scenario 2-62



Figuur A4- 1 Grafische weergave van de aanvaar- en aandrijfkans per turbine

Tabel A4-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkans per turbine voor SeaStar onder scenario 2-62

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de … jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.SeaStar_62	5139.2	251.8	0.000003	0.000004	0.000210	0.000022	0.000239	4191
002.SeaStar_62	5139.1	252.2	0.000003	0.000004	0.000211	0.000022	0.000239	4179
003.SeaStar_62	5138.9	252.5	0.000003	0.000004	0.000211	0.000022	0.000239	4179
004.SeaStar_62	5138.7	252.9	0.000003	0.000004	0.000211	0.000022	0.000239	4178
005.SeaStar_62	5138.5	253.2	0.000003	0.000004	0.000220	0.000022	0.000249	4016
006.SeaStar_62	5138.3	253.6	0.000003	0.000004	0.000214	0.000023	0.000244	4105
007.SeaStar_62	5139.6	252.3	0.000002	0.000018	0.000204	0.000026	0.000250	4008
008.SeaStar_62	5139.4	252.6	0.000002	0.000018	0.000202	0.000027	0.000250	4007
009.SeaStar_62	5139.2	252.9	0.000002	0.000019	0.000202	0.000027	0.000249	4010
010.SeaStar_62	5139.0	253.3	0.000002	0.000019	0.000203	0.000027	0.000250	3997
011.SeaStar_62	5138.8	253.6	0.000002	0.000019	0.000205	0.000027	0.000252	3961
012.SeaStar_62	5138.6	253.9	0.000001	0.000019	0.000207	0.000027	0.000254	3937
013.SeaStar_62	5138.9	251.4	0.000002	0.000001	0.000219	0.000020	0.000241	4141
014.SeaStar_62	5138.7	251.7	0.000002	0.000001	0.000218	0.000020	0.000241	4156
015.SeaStar_62	5138.5	252.1	0.000002	0.000001	0.000215	0.000020	0.000238	4203
016.SeaStar_62	5138.3	252.4	0.000001	0.000001	0.000217	0.000020	0.000239	4186
017.SeaStar_62	5138.1	252.8	0.000001	0.000001	0.000214	0.000020	0.000237	4225
018.SeaStar_62	5138.0	253.2	0.000001	0.000001	0.000215	0.000021	0.000237	4217
019.SeaStar_62	5138.6	250.9	0.000003	0.000000	0.000228	0.000018	0.000249	4011
020.SeaStar_62	5138.4	251.3	0.000003	0.000000	0.000227	0.000018	0.000248	4031
021.SeaStar_62	5138.2	251.7	0.000003	0.000000	0.000226	0.000018	0.000247	4042
022.SeaStar_62	5138.0	252.0	0.000003	0.000000	0.000223	0.000018	0.000244	4105
023.SeaStar_62	5137.8	252.4	0.000003	0.000000	0.000221	0.000018	0.000242	4140
024.SeaStar_62	5137.6	252.7	0.000003	0.000000	0.000221	0.000018	0.000242	4138
025.SeaStar_62	5138.2	250.5	0.000004	0.000000	0.000235	0.000016	0.000255	3915
026.SeaStar_62	5138.1	250.9	0.000004	0.000000	0.000235	0.000016	0.000255	3922
027.SeaStar_62	5137.9	251.2	0.000003	0.000000	0.000234	0.000017	0.000254	3935
028.SeaStar_62	5137.7	251.6	0.000003	0.000000	0.000229	0.000017	0.000249	4021
029.SeaStar_62	5137.5	252.0	0.000003	0.000000	0.000229	0.000017	0.000249	4013
030.SeaStar_62	5137.3	252.4	0.000003	0.000000	0.000230	0.000017	0.000249	4010
031.SeaStar_62	5137.9	250.1	0.000008	0.000000	0.000244	0.000018	0.000270	3706
032.SeaStar_62	5137.7	250.5	0.000007	0.000000	0.000245	0.000017	0.000268	3726
033.SeaStar_62	5137.5	250.8	0.000006	0.000000	0.000238	0.000017	0.000262	3824
034.SeaStar_62	5137.4	251.2	0.000005	0.000000	0.000236	0.000017	0.000258	3873
035.SeaStar_62	5137.2	251.6	0.000004	0.000000	0.000236	0.000017	0.000257	3886
036.SeaStar_62	5137.0	252.0	0.000004	0.000000	0.000237	0.000016	0.000257	3895
037.SeaStar_62	5137.2	249.3	0.000031	0.000001	0.000268	0.000021	0.000321	3111
038.SeaStar_62	5137.1	249.6	0.000026	0.000001	0.000265	0.000021	0.000313	3192
039.SeaStar_62	5136.9	249.9	0.000023	0.000001	0.000261	0.000021	0.000305	3274
040.SeaStar_62	5136.8	250.2	0.000020	0.000001	0.000258	0.000021	0.000299	3350
041.SeaStar_62	5136.6	250.5	0.000017	0.000000	0.000256	0.000021	0.000294	3402
042.SeaStar_62	5136.5	250.8	0.000014	0.000000	0.000253	0.000021	0.000288	3473
043.SeaStar_62	5136.3	251.2	0.000013	0.000000	0.000255	0.000020	0.000288	3473
044.SeaStar_62	5139.9	252.7	0.000001	0.000219	0.000200	0.000046	0.000466	2146
045.SeaStar_62	5139.7	253.0	0.000001	0.000218	0.000201	0.000046	0.000466	2145
046.SeaStar_62	5139.6	253.3	0.000001	0.000223	0.000199	0.000047	0.000470	2129
047.SeaStar_62	5139.4	253.5	0.000001	0.000223	0.000197	0.000046	0.000467	2139
048.SeaStar_62	5139.3	253.8	0.000001	0.000223	0.000197	0.000046	0.000467	2140
049.SeaStar_62	5139.1	254.1	0.000001	0.000223	0.000197	0.000047	0.000468	2136
050.SeaStar_62	5138.9	254.4	0.000001	0.000223	0.000197	0.000047	0.000468	2136
051.SeaStar_62	5137.6	249.7	0.000015	0.000000	0.000256	0.000019	0.000291	3436
052.SeaStar_62	5137.4	250.0	0.000013	0.000000	0.000249	0.000019	0.000282	3550
053.SeaStar_62	5137.2	250.4	0.000011	0.000000	0.000248	0.000019	0.000278	3601
054.SeaStar_62	5137.0	250.8	0.000009	0.000000	0.000245	0.000019	0.000273	3659
055.SeaStar_62	5136.8	251.2	0.000008	0.000000	0.000241	0.000019	0.000268	3730
056.SeaStar_62	5136.7	251.5	0.000007	0.000000	0.000243	0.000018	0.000268	3728
057.SeaStar_62	5136.0	250.7	0.000025	0.000001	0.000268	0.000023	0.000317	3153

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de ... jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
058.SeaStar_62	5136.2	250.3	0.000032	0.000001	0.000270	0.000023	0.000325	3075
059.SeaStar_62	5136.8	248.9	0.000068	0.000005	0.000291	0.000022	0.000386	2589
060.SeaStar_62	5136.7	249.3	0.000057	0.000004	0.000285	0.000023	0.000369	2712
061.SeaStar_62	5136.5	249.6	0.000046	0.000003	0.000283	0.000023	0.000355	2820
062.SeaStar_62	5136.3	250.0	0.000038	0.000002	0.000275	0.000023	0.000339	2954
Totaal per jaar			0.000588	0.001713	0.014328	0.001446	0.018074	55
Dit is eens in .. jaar			1701	584	70	692	55	

Tabel A4-2 ***Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor SeaStar onder scenario 2-62***

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar	Aantal per jaar	Eens in de … jaar
Routegebonden	0.000584	1712	0.014320	70	0.014904	67
Niet-routegebonden	0.001711	584	0.001446	692	0.003157	317
Totaal	0.002295	436	0.015766	63	0.018061	55

Tabel A4- 3 ***Verwachte aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-62***

Windpark	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	0.00058	0.00171	0.01432	0.00145	0.01806
Norther	0.02686	0.00242	0.03998	0.00277	0.07202
C-Power	0.00234	0.00073	0.01742	0.00144	0.02192
Rentel	0.00009	0.00299	0.01503	0.00199	0.02011
Northwind	0.00016	0.00124	0.01659	0.00171	0.01970
Belwind	0.00099	0.00167	0.02761	0.00203	0.03231
Mermaid	0.02142	0.00293	0.02415	0.00206	0.05056
Totaal	0.05244	0.01369	0.15510	0.01344	0.23467

Tabel A4- 4 ***Relatief aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken onder scenario 2-62***

Windpark	Rammen		Driften		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
SeaStar	1.1%	12.5%	9.2%	10.8%	7.7%
Norther	51.2%	17.6%	25.8%	20.6%	30.7%
C-Power	4.5%	5.3%	11.2%	10.7%	9.3%
Rentel	0.2%	21.9%	9.7%	14.8%	8.6%
Northwind	0.3%	9.1%	10.7%	12.7%	8.4%
Belwind	1.9%	12.2%	17.8%	15.1%	13.8%
Mermaid	40.8%	21.4%	15.6%	15.3%	21.5%
Totaal	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabel A4-5 ***Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen***

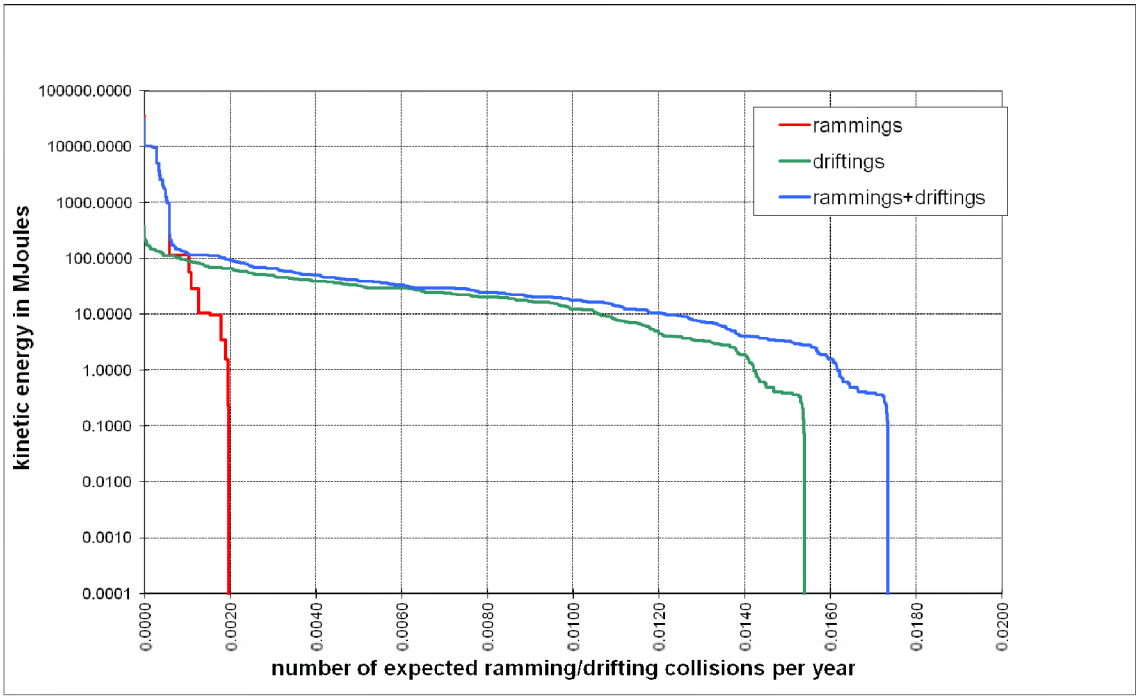
Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos[6]	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000002	0.001173	0.000025	0.001200
Chemicaliën tanker	0.000001	0.002284	0.000011	0.002296
Gastanker	0.000000	0.000500	0.000005	0.000505
Container+ RoRo	0.000049	0.006856	0.000448	0.007353
Ferry	0.000001	0.000075	0.000057	0.000133
Overige R-schepen	0.000005	0.003027	0.000400	0.003432
N-schepen	0.000025	0.000006	0.003128	0.003159

[6] Gondel en mastdeel valt op schip na plastische vervorming

Totaal	0.000084	0.013921	0.004073	0.018078

Tabel A4-6 Schade aan het totale windpark

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de … jaar
	frontaal		Schampen							
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Geen	0.000000	0.000103	0.000000	0.001088	0.000774	0.001440	0.000774	0.002631	0.003405	294
Scheef	0.000000	0.000018	0.000000	0.000041	0.003452	0.000006	0.003452	0.000064	0.003516	284
Omvallen	0.000053	0.000045	0.000477	0.000391	0.010103	0.000000	0.010632	0.000436	0.011069	90
GosMos[1]	0.000006	0.000005	0.000053	0.000021	0.000000	0.000000	0.000059	0.000025	0.000084	11914
Totaal	0.000059	0.000171	0.000529	0.001540	0.014329	0.001446	0.014917	0.003157	0.018074	55



Figuur A4-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)

Tabel A4-7 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle windturbines

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	1.9%	1.9%	0.7%	7.9%	8.6%	0.7%	9.8%	10.5%
1-3	0.0%	0.4%	0.4%	5.1%	0.1%	5.2%	5.1%	0.4%	5.6%
3-5	0.0%	0.6%	0.6%	7.1%	0.0%	7.1%	7.1%	0.6%	7.6%
5-10	0.0%	1.4%	1.4%	7.7%	0.0%	7.7%	7.7%	1.4%	9.1%
10-15	0.0%	1.5%	1.5%	5.2%	0.0%	5.2%	5.2%	1.5%	6.7%
15-50	0.0%	1.0%	1.0%	37.2%	0.0%	37.2%	37.2%	1.0%	38.1%
50-100	0.0%	0.2%	0.2%	11.6%	0.0%	11.6%	11.6%	0.2%	11.9%
100-200	0.0%	2.5%	2.5%	4.4%	0.0%	4.4%	4.4%	2.5%	6.9%
>200	3.2%	0.0%	3.2%	0.2%	0.0%	0.2%	3.5%	0.0%	3.5%
Totaal	3.2%	9.5%	12.7%	79.3%	8.0%	87.3%	82.5%	17.5%	100.0%

Tabel A4-8 ***Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine***

Uitstroom van bunkerolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 2-62		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
0.01-20	0.000003	364990	0.000
20-150	0.000147	6810	0.013
150-750	0.000395	2530	0.176
750-3000	0.000205	4878	0.299
3000-10000	0.000013	77711	0.047
Totaal	0.000763	1311	0.535

Tabel A4-9 ***Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine***

Uitstroom van ladingolie in m^3	Windpark SeaStar, scenario 2-62		
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000014	70585	0.007
750-3000	0.000046	21693	0.112
3000-10000	0.000113	8867	0.721
10000-30000	0.000015	67757	0.230
30000-100000	0.000000	2879560	0.011
Totaal	0.000188	5315	1.081

Tabel A4-10 ***Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine***

Windpark SeaStar scenario 2-62	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m^3	Eens in de … jaar
Verkeer 2012	0.000763	1311	0.535	0.000188	5315	1.081	1052

Tabel A4-11 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Ecologische risico-indicator	Verkeer 2012
Zeer hoog ecologisch risico	0.000038
Hoog ecologisch risico	0.000006
Gemiddeld ecologische risico	0.000011
Gering ecologisch risico	0.000067
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000040
Totaal	0.000161
Eens in de … jaar	6205

Tabel A4-12 Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de …jaar	Directe doden		Groepsrisico
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	Eens in de … jaar meer dan 10 doden
Olietanker	0.000000	0.000002	555556	1.01	0.000002	
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000001	1111111	1.26	0.000001	1111111
Gastanker	0.000000	0.000000	10000000	0.97	0.000000	10000000
Container + RoRo	0.000005	0.000044	20298	4.80	0.000237	
Ferry	0.000000	0.000001	833333	50.04	0.000060	833333
Overige R-schepen	0.000001	0.000004	200000	1.05	0.000005	
N-schepen	0.000000	0.000000		0.00	0.000000	
Totaal	0.000006	0.000052	17163	5.23	0.000305	454545