

RAPPORT

ELIA Asset nv

Belgian Offshore Grid

Radarstudie

26 juni 13 - 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	Radarstudie
Project	Belgian Offshore Grid
Opdrachtgever	ELIA Asset nv
Besteknummer	4074323
Documentref	I/RA/11413/13.172/JSN
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11413 - Belgian Offshore Grid - Marine Consulting\10-Rap\DO-1 Marine Consulting\RA12266_MER BOG\Externe bijlagen\Radarstudie\RA13172_Radarstudie_v1.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	26/06/13	Finaal rapport	JSN	MSM	MSA



Verdeellijst

34	Analoog	Jeroen Mentens (ELIA)
1	Digitaal	Jeroen Mentens (ELIA)

Contactpersoon IMDC

Contactpersoon	Piet Haerens
Telefoonnummer	03 287 25 17
E-mail	piet.haerens@imdc.be

Inhoudstafel

1. INLEIDING	3
2. REFERENTIE.....	4

Bijlagen

BIJLAGE A STUDIE OMTRENT DE MOGELIJKE INVLOED VAN EEN TRANSFORMATORSTATION "BELGIAN OFFSHORE GRID"	5
--	----------

1. INLEIDING

In overleg met de bevoegde overheid (BMM) werd beslist om de risico's en effecten door de bouw van een Offshore High Voltage Station (Alpha) voor het Belgian Offshore Grid op radar en scheepscommunicatie te onderzoeken. Daarbij werden de effecten bekeken vanuit zowel het Belgische als het Nederlandse oogpunt.

De bespreking en beoordeling van de effecten op radar en scheepscommunicatie werd opgesteld in een deelstudie door Prof. Dr. Ir. J. Catrysse (2013). Deze studie bevat:

- De situering van het studiegebied en actuele gegevens hiervan;
- Een literatuurstudie en opsomming van de effecten op de radars en marifone installaties: SRK radarstations, scheepsradar, VHF radiocommunicatiesystemen, RDF (Radio Direction Finder), DGPS zender in Oostende en AIS (Automatic Information System). Het gaat om zeven mogelijke effecten:
 - Zichtbaarheid: Line of Sight (LoS);
 - Mogelijke detectie door sidelobes;
 - Shadowing en mogelijke dode zones;
 - Vrije Fresnel doorgangen (ook voor de radio communicatie);
 - Multiple reflecties en valse echo's;
 - Diffractie en multipath, met range en azimuth errors;
 - Attenuatie, te wijten aan obstakel.
- Een overzicht van de belangrijkste conclusies.

Het volledige rapport wordt weergegeven in Bijlage A.

2. REFERENTIE

Catrysse, J. (2013). Studie omtrent de mogelijke invloed van een transformatorstation "Belgian Offshore Grid" met betrekking tot: de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie. Studie in opdracht van ELIA en in samenwerking met IMDC.

Bijlage A Studie omtrent de mogelijke invloed van een transformatorstation "Belgian Offshore Grid"

Prof.dr.ir.J.Catrysse (22/06/2013)

INHOUDSTAFEL

1. Inleiding	7
2. Actuele gegevens van radar, radiocommunicatie en schepen	10
2.1. Radar en radiocommunicatie	16
2.1.1. Gegevens van de SRK radarstations	16
2.1.2. Gegevens van de marifone systemen (AIS en RDF)	17
2.1.3. Gegevens van het DGPS station (Oostende)	17
2.1.4. Gegevens van een typische scheepsradar	17
2.1.5. Gegevens van de VHF radiocommunicatie	18
2.2. Transformatorstation	21
2.3. Bereik van de SRK radarinstallaties	24
2.4. RCS (Radar Cross Section) van schepen	27
3. Literatuurstudie	28
4. Overzicht van de als belangrijke geïdentificeerde effecten	29
4.1. Controle van de zichtbaarheid (LoS)	29
4.2. Mogelijke detectie door zijlobes	29
4.3. Shadowing en mogelijke dode zones	29
4.4. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel)	30
4.5. Meervoudige reflecties en valse echo's	31
4.6. Effecten van diffractie en multipath propagatie	31
4.7. Attenuatie, te wijten aan obstakel	32
5. Impactanalyse op de SRK walradar	33
5.1. Controle van de zichtbaarheid van het transformatorstation	36
5.2. Shadowing en mogelijke dode zones	38
5.2.1. Radar op de Oostdijckbank	40
5.2.2. Radar in Oostende	41
5.2.3. Radar in Zeebrugge	42
5.3. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel)	43
5.4. Meervoudige reflecties en valse echo's	48
5.5. Hoekafwijking door diffractie en multipath	49
6. Impactanalyse op de scheepsradar	51
6.1. Controle van de zichtbaarheid van BOG Alpha	53
6.2. Mogelijke detectie door zijlobes	55
6.3. Shadowing en mogelijke dode zones	55
6.4. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel)	63
6.5. Meervoudige reflecties en valse echo's	63

6.6. Hoekafwijking door diffractie en multipath	67
6.7. Specifieke praktijksituaties omtrent de scheepsradar	69
7. Impactanalyse op de VHF radiocommunicatie	70
7.1. Reikwijdte van de VHF systemen	70
7.2. Shadowing, mogelijke dode zones en vrije Fresnel radio- propagatie	74
7.2.1. Communicatie schip/wal	74
7.2.2. Communicatie schip/schip	75
7.3. Effecten van multipath propagatie	77
8. Impactanalyse op het AIS systeem	78
9. Impactanalyse en effecten op het RDF & DGPS systeem	79
9.1. AIS Systeem	79
9.2. DGPS Systeem (Oostende)	82
10. Uitbreidingen van SRK systeem voor VHF/AIS	83
Conclusies	84
C.1. Conclusies omtrent de SRK radarinstallaties	84
C.2. Conclusies omtrent de scheepsradar	87
C.3. Conclusies omtrent de VHF systemen , AIS en RDF	89
Besluit	91
Referenties	92
Appendix 1: samenvatting literatuuroverzicht	93
Appendix 2: Fresnel modellen voor multi-objecten	97

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 UHF	Very High Frequency en Ultra High Frequency, geven de frekwentiebanden aan van radio communicatie. Voor de marifone systemen wordt VHF gebruikt tussen 150 MHz en 165 MHz

Studie omtrent de mogelijke invloed van een transformatorstation “Belgian Offshore Grid” met betrekking tot de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie

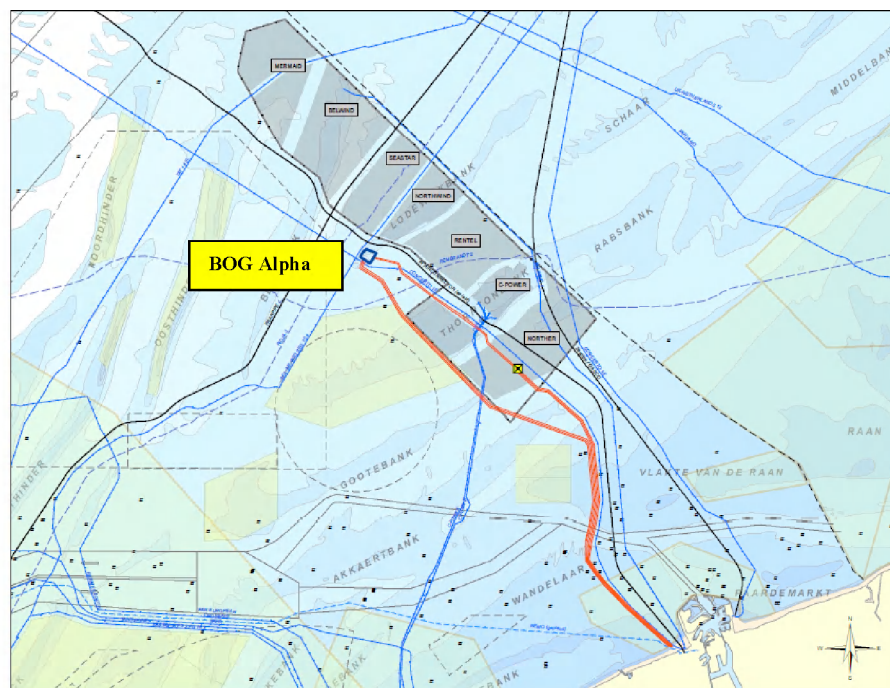
1. Inleiding.

In deze studie wordt nagegaan wat de mogelijke invloed is van de inplanting van een transformatorstation ter hoogte van de Lodewijkbank (“Belgian Offshore Grid” of BOG), met betrekking tot de normale werking van de SRK-radar, de scheepsradar en de verschillende marifone communicatiesystemen. De vaste installaties worden beheerd door de Vlaams-Nederlandse instantie “Schelde Radar Keten” of afgekort SRK.

Voor deze studie werd ook overleg gepleegd met de diensten SRK tijdens een vergadering in Zelzate (21 juni 2013). SRK stelde daarbij ook alle nodige technische informatie omtrent de radarstations en de VHF communicatie ter beschikking.

In deze studie wordt meteen rekening gehouden met de bekende vergunde concessiegebieden van de diverse projecten, al of niet reeds in uitvoering of uitbating:

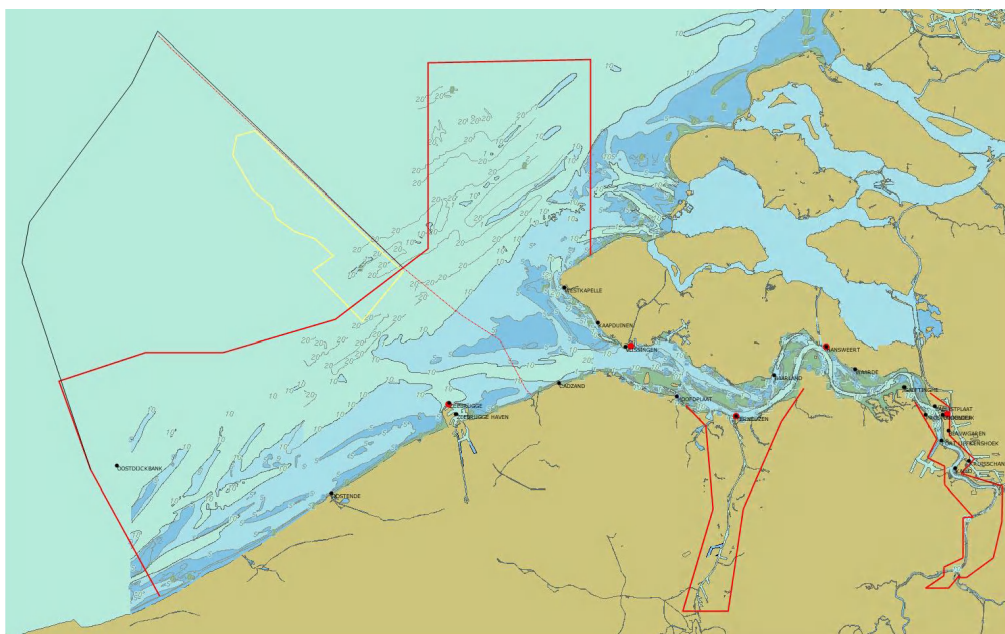
- Norther, gelegen tussen de kust en de Thorntonbank
- C-Power, gelegen op de Thorntonbank
- RENTEL, gelegen tussen de Thorntonbank en de Lodewijkbank
- Northwind (vroeger Eldepasco), gelegen op de Lodewijkbank (vroeger Bank zonder Naam)
- SeaStar, gelegen tussen de Lodewijkbank en de Bligh Bank
- Belwind, gelegen op de Bligh Bank
- Mermaid, gelegen voorbij de Bligh Bank



Figuur 1a. Overzichtskartaal van de verschillende concessiegebieden en het projectgebied “BOG Alpha”

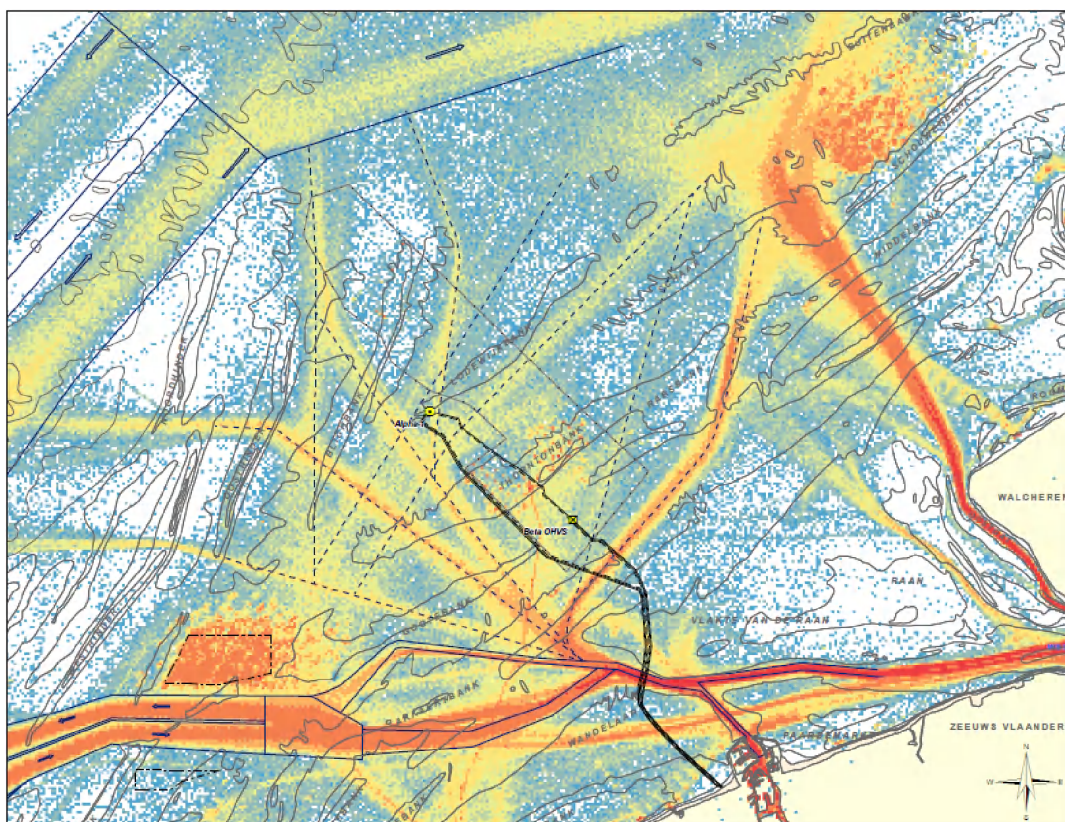
Op de bovenstaande kaart is het project gebied aangegeven door het blauwe vierkant, ten westen van de Lodewijkbank, en is verder bekend als “BOG Alpha”.

Aansluitend zijn in figuur 1b, de verschillende gebieden van scheepvaartbegeleiding en het Belgische EEZ gebied weergegeven.



Figuur 1b. Overzichtskaart van de verschillende gebieden (EEZ en SAR, SRK) tegenover de kustlijn

Op de kaart van figuur 1a 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.

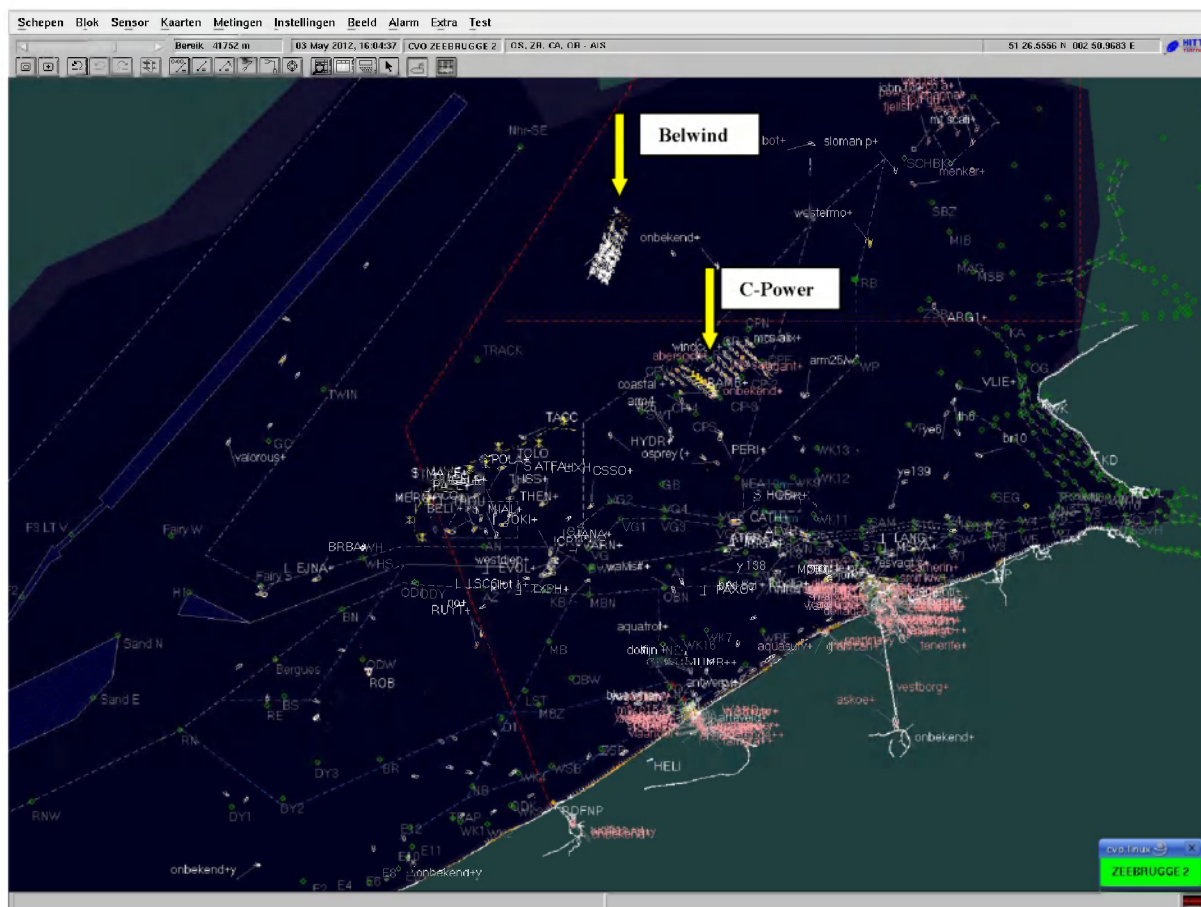


Figuur 2a. Typisch scheepvaartverkeer in het betreffende gebied

In de praktijk is er echter nog een druk scheepvaartverkeer rond en doorheen de concessiegebieden, zoals in figuren 2a en 2b te zien is. Deze scheepvaart zal een gemengde vorm zijn van lokale visserij en doorgaand scheepvaartverkeer.

Dit verkeer zal bij een volledige invulling van de concessiegebieden dienen te verleggen om en rond de concessiegebieden. Het projectgebied “BOG Alpha” ligt dan volledig binnen deze vaarroutes.

Het is zonder meer duidelijk dat deze nieuwe “routes” de nodige aandacht en opvolging vergen voor de radaropvolging en de radiocommunicatie, te meer dat het transformatorstation “BOG Alpha” zich ook in deze directe omgeving bevindt.



Figuur 2b. Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname 2012)

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

Verder is het duidelijk dat de route van en naar Zeebrugge en naar de Scheldemonding volledig aan landzijde van het concessiegebied voor windparken, als van het transformatorstation “BOG Alpha” gelegen is, en dus ook naar radarwaarneming en radiocommunicatie niet beïnvloed zal worden.

Op te merken is de beperking in radarwaarneming op verdere afstanden (zie verder), maar tegelijk ook de duidelijke zichtbaarheid van de twee “actuele” (ref. 2012) windparken op zee (C-Power en Belwind, aangegeven met een gele pijl).

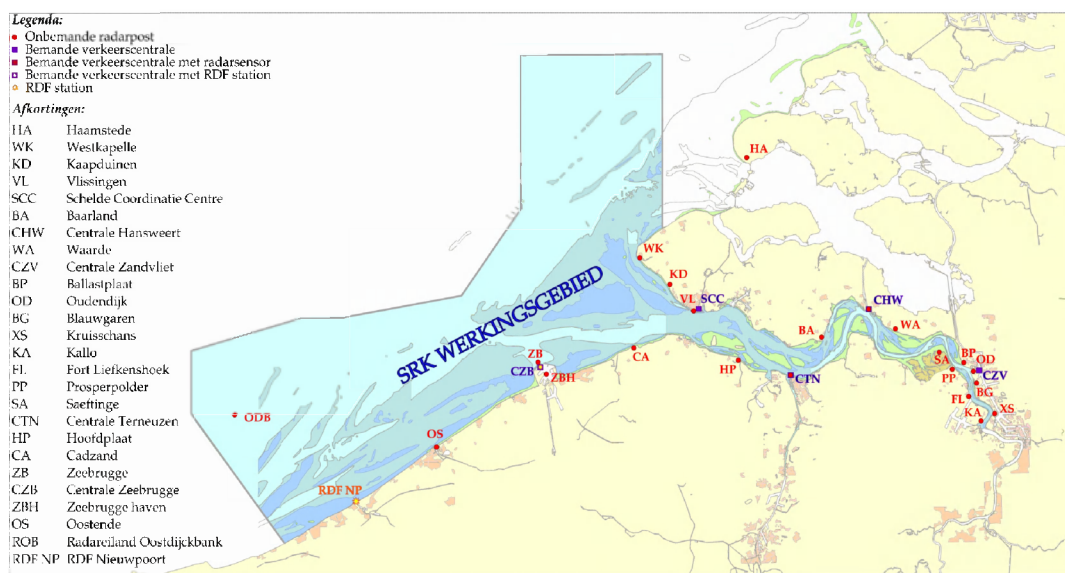
2. Actuele gegevens van radar, radiocommunicatie en transformatorstation

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 3 een overzicht gegeven van:

- officiële actieve werkingsgebied van de VTS-SRK scheepvaartbegeleiding
- ligging van de verschillende SRK radarstations

Het Belgische en Nederlandse concessiegebied voor windparken op zee, waarbij duidelijk de referentie punten van de Thorntonbank, Lodewijkbank en Bligh Bank te zien zijn, evenals het gebied voor het onderhavige BOG Alpha werd reeds in figuur 1a weergegeven.



Figuur 3a SRK actief werkingsgebied en ligging van de SRK radarstations

Zoals hoger aangegeven (figuur 2), 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.

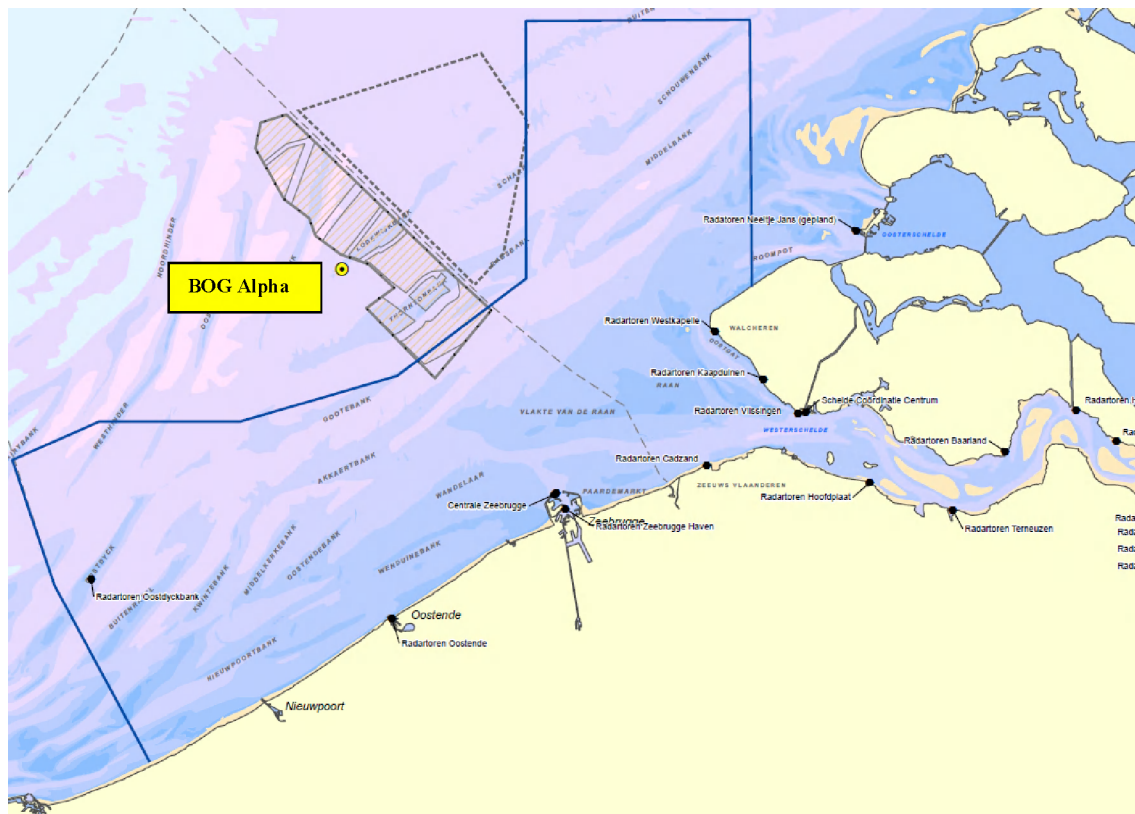
Afstand in km tot midden van	Thorntonbank	BOG Alpha	Lodewijkbank	Bligh Bank
Oostdijkbank	45,2 km	43,5 km	50,9 km	42,4 km
Oostende	33,9 km	38,8 km	42,5 km	39,6 km
Zeebrugge	25,4 km	34,0 km	33,9 km	38,2 km
Cadzand	39,6 km	46,1 km	43,8 km	50,9 km
Vlissingen	48,1 km	51,0 km	50,9 km	56,6 km
Westkapelle	36,7 km	41,5 km	39,6 km	53,7 km
Neeltje Jans (gepland)	51,9 km	55,5 km	52,5 km	57,7 km

Tabel 1. Afstand van SRK radarstations tot middelpunt referentiebanken en BOG Alpha

Bovenstaande tabel geeft de afstand van de verschillende radarstations van SRK tot het midden van drie referentiebanken en het projectgebied Alpha voor het transformatorstation.

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)



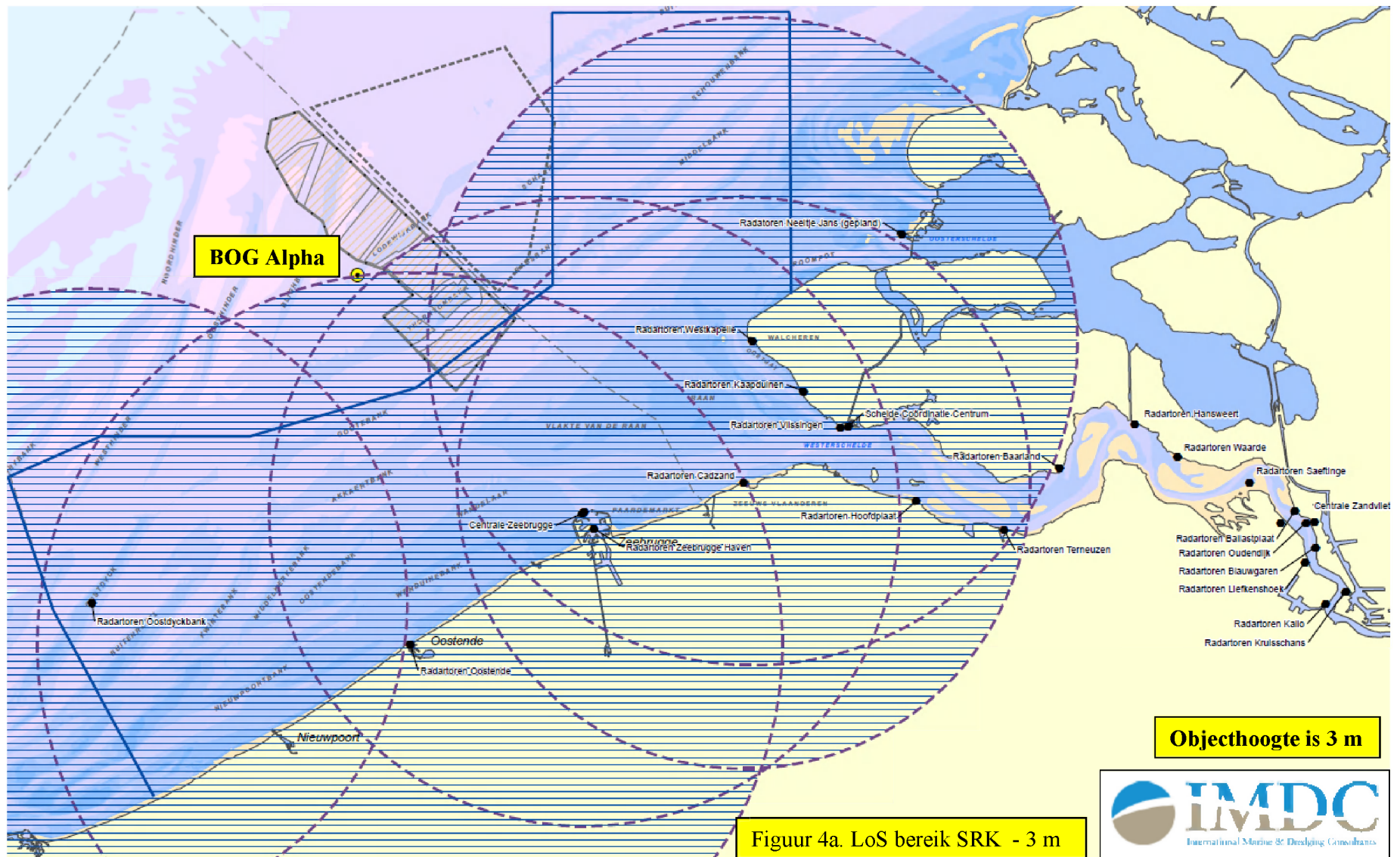
Figuur 3b Ligging van het projectgebied BOG Alpha ten opzichte van de SRK radarstatiions

In de figuren 4 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 2.3. van deze studie.

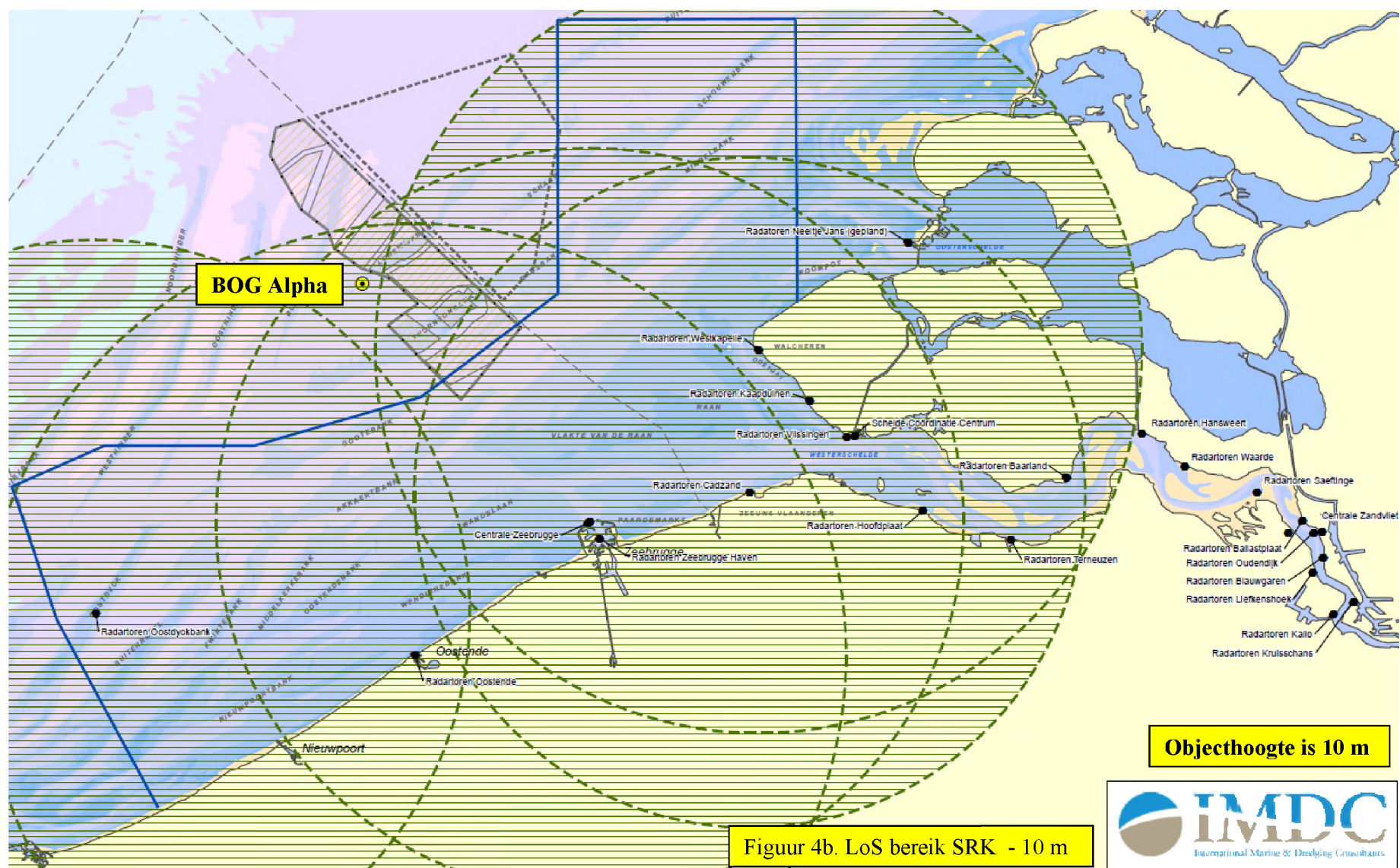
Verder dient ook nog de radar en de radioapparatuur aan boord van de schepen in aanmerking te worden genomen. Specifiek voor het radioverkeer dient aandacht besteed te worden aan zowel de communicatie schip/wal en schip/schip.

De volgende secties geven een overzicht en een beschrijving van de verschillende installaties die in aanmerking dienen genomen te worden voor deze studie:

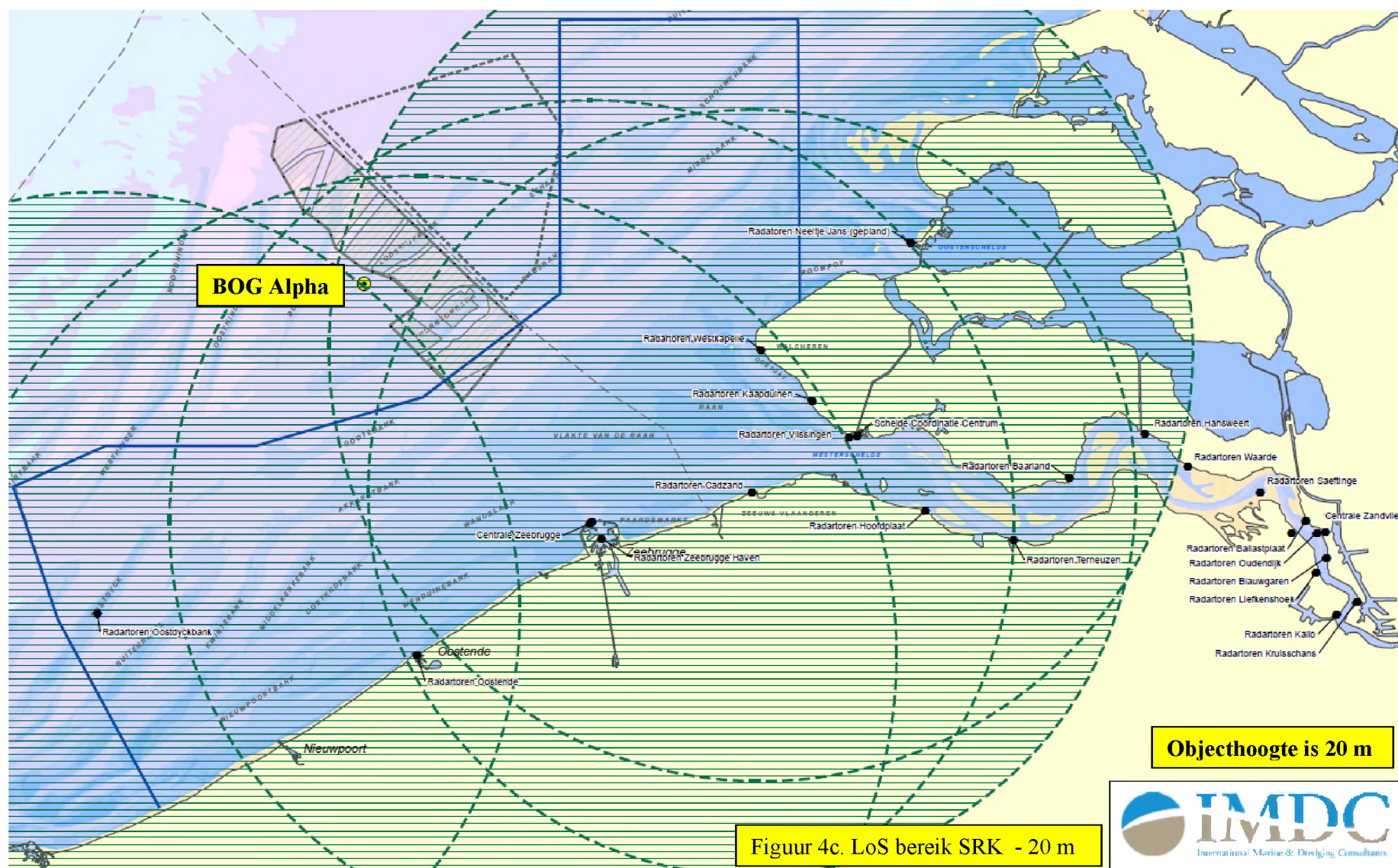
- verschillende SRK radarstations
- VHF radiocommunicatie systemen
- Radio Direction Finder (RDF) via VHF kanalen
- AIS systeem (via VHF kanalen)
- typische voorbeelden van marine radar (aan boord)
- de eigenschappen van grote objecten en enkele schepen (RCS waarden)

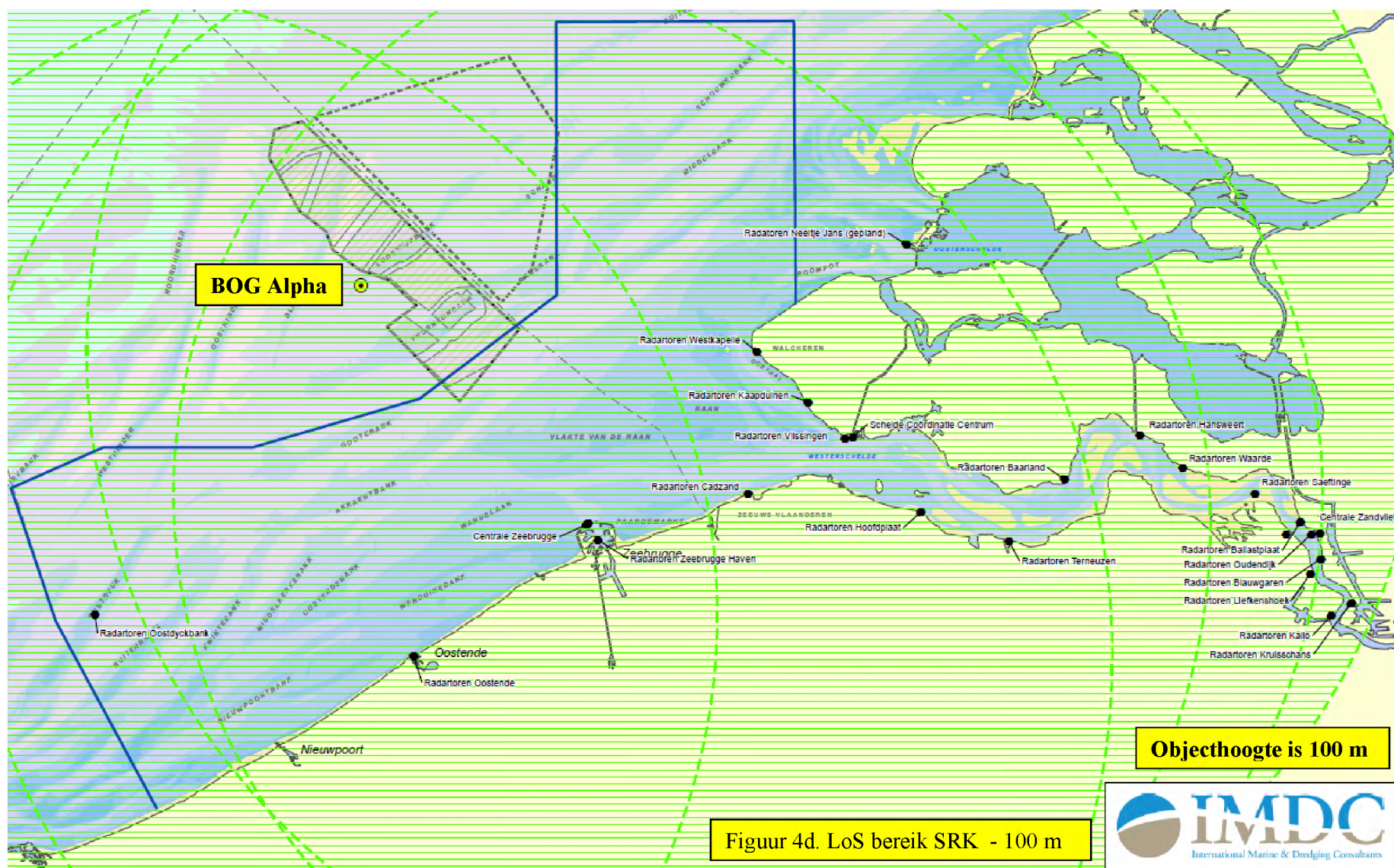


Figuur 4a. LoS bereik SRK - 3 m



Figuur 4b. LoS bereik SRK - 10 m





2.1. Radar en radiocommunicatie.

Voor de gegevens qua inplanting, frequenties en vermogens wordt verwezen naar tabel 2 voor de radarstations en tabellen 3, 4 en 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 1. Het transformatorstation zelf valt daarenboven ook binnen de feitelijke waarnemingszones van verschillende SRK radarstations.

Alhoewel de betreffende zone niet binnen het eigenlijke actieve werkingsgebied van VTS-SM en VTS-VK valt (zie figuur 3), wordt het scheepvaartverkeer op de hoofdnavigatieroutes, toch nog gedeeltelijk door de radarposten van Zeebrugge Oostende en Westkapelle opgevolgd.

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 antennemasten en de kromming van de aarde (zie verder 2.3).

2.1.1. Gegevens van de SRK radarstations SCANTER 2001 en antenne CHL38

Locatie	Positie UTM (ED50)			Hoogte (m)	ref.	Zend-/Ontvang frequentie (MHz)	PRF (Hz) ± 10%	Pulsduur (ns)	Min. piekvermogen (kW)	Tangentieële bundelbreedte		Vertikale bundelbreedte		Gain (dB)	Polarisatie
	Zone	Northing	Easting							-3 dB	-20 dB	-3 dB	-10 dB		
Nederland															
Westkapelle	31	5708234	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	39.2	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	461650	37.0	G.L.L.S.	9,375	2,204	250	25	0.270°	0.750°	15°	-	37	vertikaal

Tabel 2. Gegevens van de SRK radarstations

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 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

AIS		1		
Locaties België		VHF Transmitter (W)	Type transponder	Receiver sensitivity (dBm)
Radar Oostdijkbank	AIS	12	BS400	-107dBm
Milj. 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

Tabel 3. Gegevens van de RDF Direction Finders en AIS

2.1.3. 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

Tabel 4. Gegevens van het DGPS systeem

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

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TDRK	Afzendervermogen (ERP-dBm)	Antenne Gain (dBi)	Damping spiner	Afzenderdamping	Kabeldamping	Zendervermogen (dBm)	Vermogen uit kast (dBm)	Antenne kabel hoogte (m)	Gevoelheid ontvanger (dBm)	Richting antenne	Openingshoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werktgebied	Opmerkingen	
Belgie																			
Vlaanderen Oostende	4	156,500	TX	44,0	0	4,00	0,00	0,00	40,00	36,00	56,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
	6	156,500	TX	44,0	0	4,00	0,00	0,00	40,00	36,00	56,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
	2	156,400	TX	44,0	0	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	57,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
	60	156,525	TX	44,0	0	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	57,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
	62	156,525	TX	44,0	0	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	58,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
	224	152,275	TX	44,0	0	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	58,00	nr	300°	52°	K 52 10 21	60	250,251		
Noordzee Oostende	18	156,500	TX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	674	156,575	TX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
Rederij De Oostende	4	156,500	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	250,251		
	6	156,500	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	250,251		
	2	156,400	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	250,251		
	60	156,525	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	251		
	62	156,525	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	251		
	224	152,275	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	300°	170°	K 53 10 21	36	251		
Rederij De Oostende	18	156,500	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	674	156,575	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
Rederij De Oostende	4	156,500	TX	40,4	0	7,50	0,00	0,75	40,65	37,15	50,00	nr	330°	52°	K 52 10 21	50	250,251		
	6	156,500	TX	40,4	0	7,50	0,00	0,75	40,65	37,15	50,00	nr	330°	52°	K 52 10 21	50	250,251		
	2	156,400	TX	40,4	0	7,50	0,00	0,75	40,65	37,15	50,00	nr	330°	52°	K 52 10 21	50	250,251		
	60	161,540	TX	26,0	0	4,00	20,00	0,50	41,50	17,50	30,00	nr	160°	170°	K 53 10 21	20	251		
	62	156,475	TX	41,3	0	4,00	0,00	0,75	41,55	34,55	50,00	nr	330°	52°	K 52 10 21	48	250		
	714	156,575	TX	20,0	0	4,00	20,00	0,50	41,50	17,50	30,00	nr	160°	170°	K 53 10 21	20	251		
Rederij De Oostende	224	152,275	TX	40,4	0	4,00	0,00	0,75	37,15	37,15	50,00	nr	330°	52°	K 52 10 21	48	250		
	4	156,500	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-100,40	330°	170°	K 53 10 21	31	250		
	6	156,500	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-100,40	330°	170°	K 53 10 21	31	250,251		
	2	156,400	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-100,40	330°	170°	K 53 10 21	31	250,251		
	60	156,525	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	130°	170°	K 53 10 21	31	250		
	62	156,525	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	130°	170°	K 53 10 21	31	250		
Rederij De Oostende	60	156,475	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	130°	170°	K 53 10 21	31	250		
	714	156,575	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	130°	170°	K 53 10 21	31	250		
	224	152,275	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	130°	170°	K 53 10 21	31	250		
	4	156,500	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
	6	156,500	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-113,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
	10	156,500	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-106,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
Rederij De Oostende	12	156,525	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-106,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
	60	156,525	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-106,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
	62	156,525	FX	nr	0	nr	nr	1,30	nr	nr	30,00	-106,00	200°	130°	170°	K 52 07 21	25	251	
	11	156,500	TX	35,00	0	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	30,00	nr	15°	52°	K 52 07 21	20	251		
	12	156,525	TX	35,00	0	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	30,00	nr	15°	52°	K 52 07 21	20	251		
	60	156,525	TX	35,00	0	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	30,00	nr	15°	52°	K 52 07 21	20	251		
Fort Lekehoek	60	156,525	TX	44,00	0	1,00	0,00	0,60	37,60	36,60	14,70	nr	125°	52°	K 52 10 21	12	254		
	62	156,525	FX	nr	0	nr	nr	0,60	nr	nr	12,70	-113,00	125°	52°	K 52 10 21	12	254		
Properpolder	4	156,500	TX	33,00	0	1,00	10,00	0,62	37,62	28,62	15,00	nr	60°	170°	K 53 15 21	12	255		
	6	156,500	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	15,00	-113,00	60°	170°	K 53 15 21	12	255		
Bechtelingsgebied Waasland	10	156,500	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	12,00	-110,20	210°	52°	K 52 07 21	25	251		
	60	156,525	FX	nr	0	nr	nr	0,62	nr	nr	12,00	-110,20	210°	52°	K 52 07 21	25	251		
Buit wijk	6	156,500	FX/TX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	8	156,400	FX/TX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	10	156,500	TX	41,00	0	4,00	0,00	3,10	40,00	36,00	75,50	nr	20°	63°	K 52 07 21	25	251		
Kwadranten	60	156,525	TX	41,00	0	4,00	0,00	3,10	40,00	36,00	75,50	nr	20°	63°	K 52 07 21	25	251		
	6	156,500	TX	40,00	0	10,00	0,00	1,00	44,00	36,00	48,50	nr	150° - 320°	63°	K 52 07 21	36	251, 252, 253, 254		
	8	156,400	TX	40,00	0	10,00	0,00	1,00	44,00	36,00	48,50	nr	150° - 320°	63°	K 52 07 21	36	251, 252, 253, 254		
	12	156,500	TX	40,00	0	10,00	0,00	1,00	44,00	36,00	48,50	nr	150° - 320°	63°	K 52 07 21	36	251, 252, 253, 254		
	60	156,525	TX	40,00	0	10,00	0,00	1,00	44,00	36,00	48,50	nr	150° - 320°	63°	K 52 07 21	36	251, 252, 253, 254		
	6	156,500	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
Rederij De Oostende	8	156,400	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	12	156,500	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	60	156,525	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	
	6	156,500	FX	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	bestand	Aankoppeling	

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TDX/RX	Antenne-vermogen (ERP dBm)	Antenne Gain (dB)	Damping splitter	extreme damping	Kabel damping	Zender-vermogen (dBm)	Vermogen uit kast (dBm)	Antennekabel lengte (M)	Gevoeligheid ontvanger (µV)	Richting hoofdas antenne	Openingshoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werking getal	Opmerking	
Nederland																			
Vuurtoren Westkapelle	9	156,450	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,90	37,90	33,90	22,00	nvt	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	29L	157,450	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,90	37,90	33,90	22,00	nvt	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	64	160,825	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,98	37,98	33,98	24,00	nvt	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	67	156,375	TX	41,0	8	4,00	0,00	0,98	37,98	33,98	24,00	nvt	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	5	156,300	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	8	156,400	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	9	156,450	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
Radartoren Westkapelle	15	156,800	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	29L	157,450	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	64	156,225	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	67	156,375	RK	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	WL1		
	18	156,900	RK	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
	19	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
	37L	157,850	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
Radartoren Vlissingen Boulevard	14	156,700	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,72	37,22	19,72	17,50	nvt	120°	270°	63°	K 52 07 21	35	WL2	lat op 2 X antenne
	21	161,650	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,72	37,22	19,72	17,50	nvt	120°	270°	63°	K 52 07 21	35	WL2	lat op 2 X antenne
	29L	157,450	TX	24,00	8	10,50	10,00	0,72	37,22	19,72	17,50	nvt	120°	270°	63°	K 52 07 21	35	WL2	lat op 2 X antenne
	40L	158,000	TX	24,00	3	7,50	10,00	0,74	39,24	21,74	18,00	nvt	200°	170°	K 55 19 21	35	WL2		
	67	160,125	TX	24,00	3	7,50	10,00	0,74	39,24	21,74	18,00	nvt	200°	170°	K 55 19 21	35	WL2		
	70A	161,125	TX	24,00	3	7,50	10,00	0,74	39,24	21,74	18,00	nvt	200°	170°	K 55 19 21	35	WL2		
	70B	161,125	TX	24,00	3	7,50	10,00	0,74	39,24	21,74	18,00	nvt	200°	170°	K 55 19 21	35	WL2		
Radarcentrale Vlissingen	NAV 103	0,518	RK	nvt	nvt	nvt	nvt	1,50	nvt	nvt	37,00	nvt	0mm	nvt	nvt	nvt	nvt	NVT	NVT
	8	156,300	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	WL2		
	9	156,400	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	WL2		
	13	156,450	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,78	nvt	nvt	43,50	-119,00	120°	170°	K 53 19 21	35	WL2, VL3		
	14	156,700	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	39	WL2		
	16	156,800	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	WL2		
	21	157,050	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
	29L	157,450	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
	40L	158,000	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
	67	156,375	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
	70A	161,125	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
	70B	161,125	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	WL2		
Radarcentrale Torneweizen	3	156,150	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1		
	8	156,300	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-113,00	0°-180°	nvt	nvt	nvt	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	9	156,400	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-113,00	0°-180°	nvt	nvt	nvt	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	11	156,550	RK	nvt	8	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-103,00	180°	63°	K 52 07 21	23	TN2		
	14	156,700	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1		
	67	156,375	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-106,00	0°-180°	nvt	nvt	nvt	23	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70A	161,125	RK	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1		
Torneweizen Ste August de Molijer	3	160,750	TX	25,0	9	7,50	10,00	3,73	41,23	23,73	91,00	nvt	0°	170°	K 53 19 21	40	TN1		
	11	156,550	TX	25,0	8	1,00	20,00	3,73	36,73	15,73	91,00	nvt	180°	63°	K 52 07 21	40	TN2		
	14	156,700	TX	25,0	9	7,50	10,00	3,73	41,23	23,73	91,00	nvt	0°	170°	K 53 19 21	40	TN1		
	67	156,375	TX	25,0	8	4,00	20,00	3,73	42,73	18,73	91,00	nvt	0°-180°	75°	nvt	nvt	40	TN1, TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70A	161,125	TX	25,0	3	7,50	10,00	3,73	41,23	23,73	91,00	nvt	0°	170°	K 53 19 21	40	TN1		
	70B	161,125	TX	25,0	3	7,50	10,00	3,73	41,23	23,73	91,00	nvt	0°	170°	K 53 19 21	40	TN1		
Sluis Torneweizen	18	156,900	RK	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
	19	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
	69	158,475	TX/RK	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluis kanaal
Centrale Harnswaart	8	156,300	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-113,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
	9	156,400	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-113,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
	13	156,600	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
	65	156,275	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
	67	156,375	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
	70A	161,125	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1		
Centrale Sluis Organisatie Harnswaart	13	156,600	TX	25,0	9	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1		
	65	160,675	TX	25,0	9	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1		
	67	156,375	TX	25,0	3	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1		
	70A	161,125	TX	25,0	3	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1		
Radartoren Waarden	19	156,950	RK	nvt	4	nvt	nvt	1,67	nvt	nvt	40,80	-106,00	215°	118°	K 53 18 21	25	DV1		
	19	161,550	TX	25,0	4	1,00	20,00	1,67	41,67	20,67	40,80	nvt	215°	118°	K 53 18 21	25	DV1		
	21	157,050	RK	nvt	8	nvt	nvt	1,76	nvt	nvt	43,00	-107,80	125°	62°	K 52 32 21	25	DV2		
	21	161,650	TX	24,0	8	1,00	20,00	1,76	39,76	18,76	43,00	nvt	125°	62°	K 52 32 21	25	DV2		

Tabel 5. Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen

2.2. Transformatorstation.

Op het ogenblik van deze studie zijn niet alle details bekend omtrent het transformatorstation. Toch kan er uitgegaan worden van een hoofdgebouw met afmetingen $L \times B \times H = 33 \times 19 \times 20$ m, en een aantal transformatoren en reactoren ernaast, die elk als een module van $L \times B \times H = 11 \times 11 \times 11$ m kunnen gemodelleerd worden.

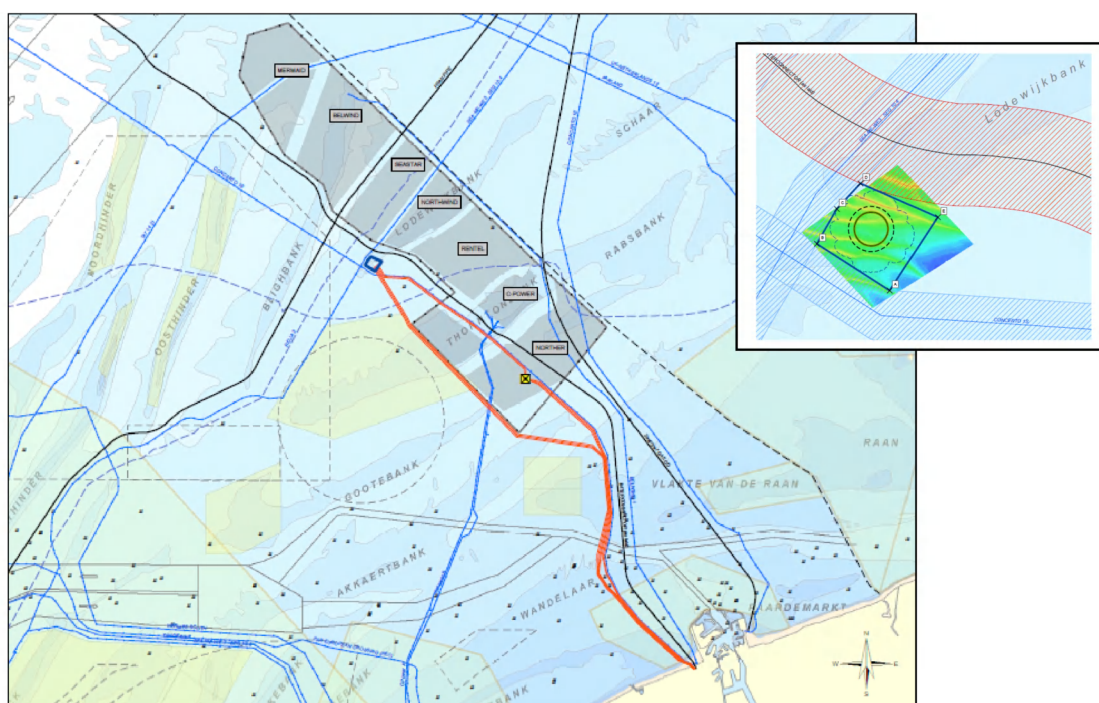
Deze componenten bestaan uit een grote compacte massa metaal, en zullen – worst case – als één groot vlak in de drie dimensies gemodelleerd worden voor de radarstudie.

Een voorbeeld van een hoogspanningstransformator en een transformatorstation wordt ter illustratie in de onderstaande figuur gegeven, waaruit duidelijk de compacte massa aan metalen constructies af te leiden is.

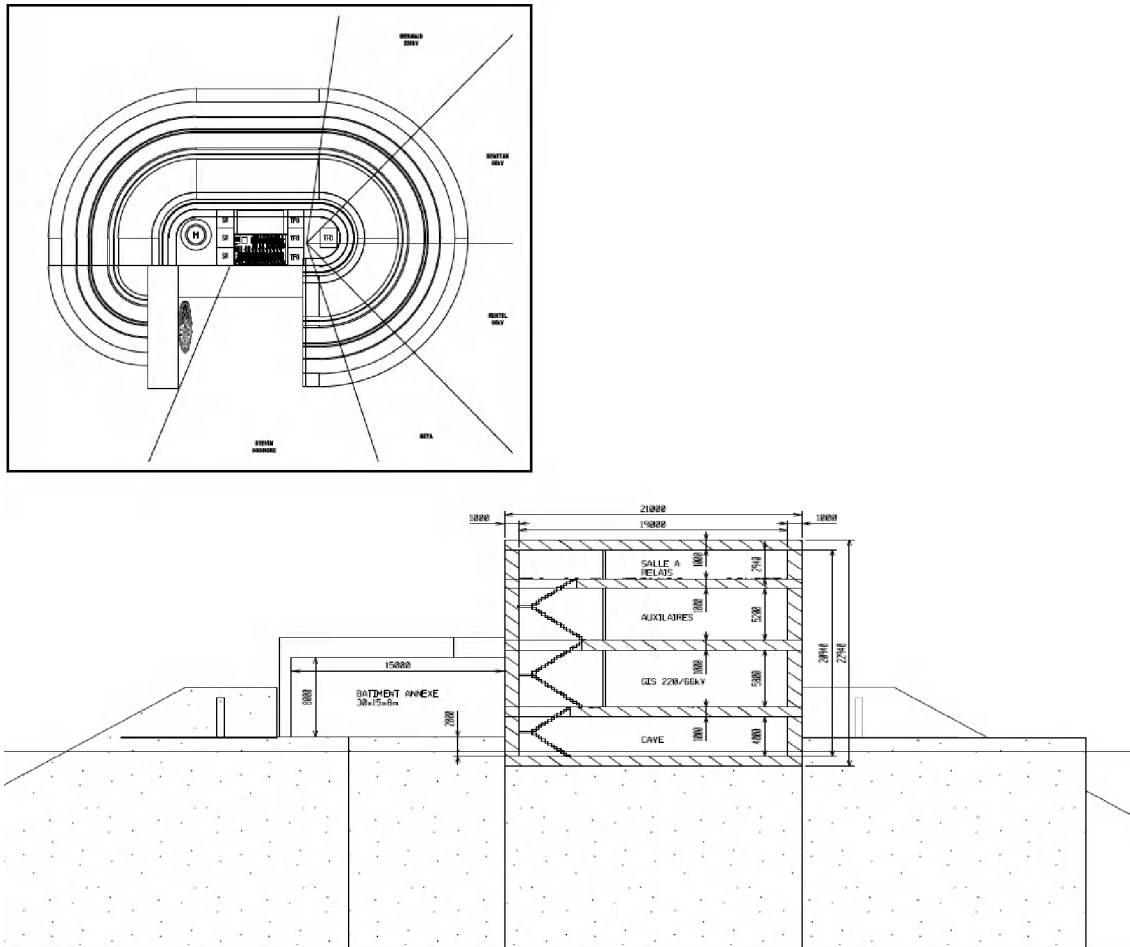


Figuur 5. Een voorbeeld van een hoogspanningstransformator en een transformatorstation

Het BOG Alpha transformatorstation wordt gebouwd op een nieuw aan te leggen eiland, ten westen van de Lodewijkbank, zoals reeds in figuur 3b aangegeven. De volgende figuren tonen schetsmatig de ligging en de opbouw van dit transformatorstation.



Figuur 6. Ligging van het projectgebied BOG Alpha

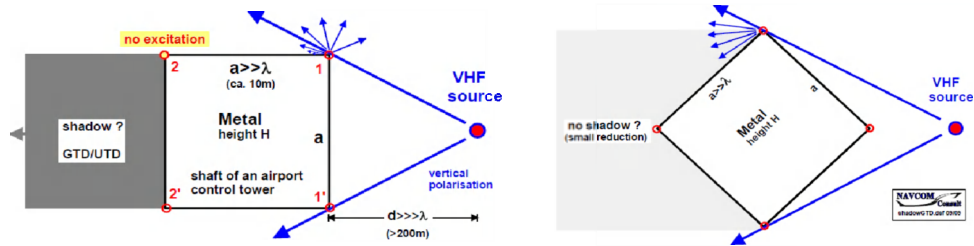


Figuur 7. Schetsmatige voorstelling van BOG Alpha transformatorstation (bovenaanzicht en dwarsdoorsnede).

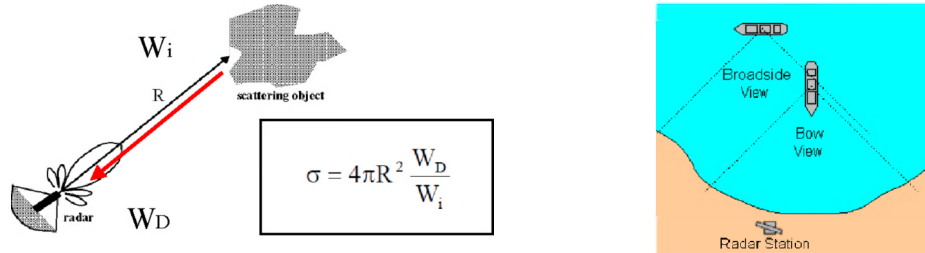
Uit de bovenstaande schetsen blijkt dat de basisafmetingen (LxB) van hoofdgebouw en transformator-modules ongeveer 55x36m kunnen genomen worden, met een dominante hoogte van 20 m (hoofdgebouw) voor de Fresnel top attenuation (zie §4.4. en §4.6.).

Gegeven de -3 dB openingshoek van de radarbundel en de afstand tussen de radarstations en het transformatorstation, zal een gepaste generieke dimensionering tegenover een gedetailleerde omschrijving, geen wezenlijk verschil uitmaken naar de mogelijke impact op de radarsystemen. Gegeven de (- 3 dB) openingshoek van de SRK radarantennes, is de bundelbreedte van de SRK radars op een afstand van 40 km ongeveer 200 m, zodat kan aangenomen worden dat de wanden van de constructie, bij rotatie van de radarbundel, nog steeds volledig zullen bestraald worden, zodat het diffractiemodel kan toegepast worden. In de onderstaande figuur 8a wordt daarbij ook nog het verschil aangegeven van een vlakke structuur en een opstelling waarbij de schaduwzone achter het object beperkt wordt.

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 8b, voor een verschillende lokalisatie van een radarantenne.



Figuur 8a. Schematische voorstelling van de diffractie eigenschappen van sommige structuren



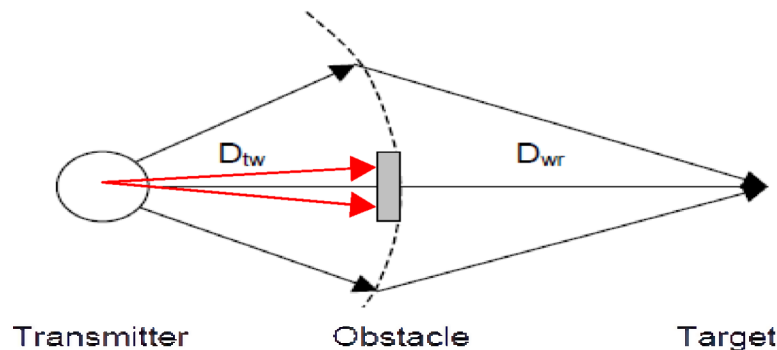
Figuur 8b. Schematische voorstelling van de reflecterende eigenschappen van een structuur (RCS)

De situatie verschilt daarbij nog aanmerkelijk voor de scheepsradar van schepen in de onmiddellijke nabijheid van het transformatorstation. In de volgende tabel wordt de bundelbreedte aangegeven van een typische scheepsradar in functie van de afstand tot de radarantenne.

Afstand tot radar	Bundelbreedte
100 m	4 m
500 m	17 m
1000 m	35 m
2500 m	87 m
5000 m	175 m
10000 m	350 m

Tabel 6. Bundelbreedte van een typische scheepsradar in functie van de afstand tot het schip

Hieruit blijkt dat op relatief korte afstand tussen schip en het transformatorstation, slechts een gedeelte van de wanden zal bestraald worden, er dus een volledige schaduwzone achter het transformatorstation zal ontstaan. Dit wordt schematisch geïllustreerd in figuur 9, waarbij de rode pijlen de situatie tonen van een slechts gedeeltelijk bestraald obstakel. Bij een volledige bestraling (of meer) kan een beperkte schaduwzone ontstaan, en een verminderde reikwijdte door de Fresnel edge attenuatie (zwarte pijlen in figuur 9).

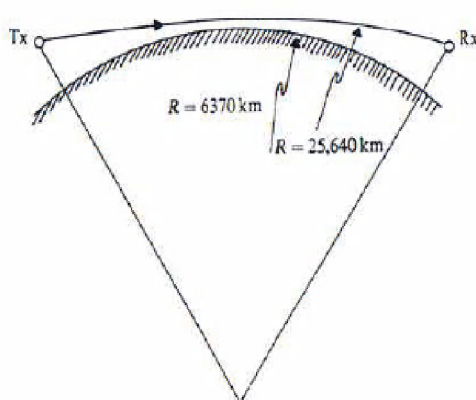


Figuur 9. Schematische voorstelling van de invallende radarbundel van een scheepsradar

Zonder verder in detail in te gaan op de RCS van een obstakel onder gedeeltelijke of volledige bestraling, is het duidelijk dat op korte afstand de scheepsradar het transformatorstation zal detecteren. Het probleem accentueert zich naar de waarneembaarheid rond en achter het transformatorstation.

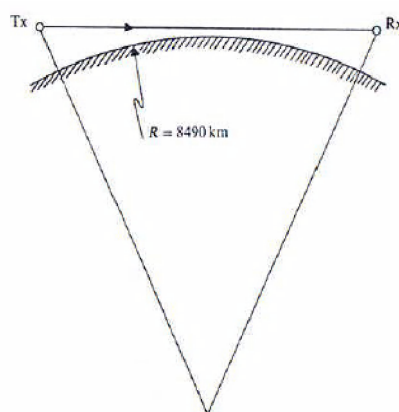
2.3. Bereik van de SRK radar

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 25640 km.



Figuur 10a. 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 de figuren 10a/b schematisch weergegeven.



Figuur 10b. 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.

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

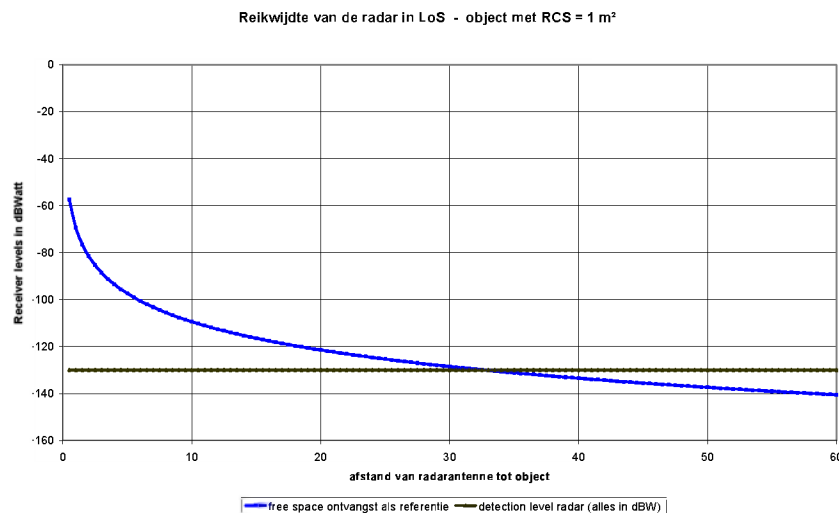
Tabel 7. Theoretische reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

De volgende figuren geven het bereik van de SRK radar onder de conditie van een vrije Line of Sight (LoS) onder de volgende condities:

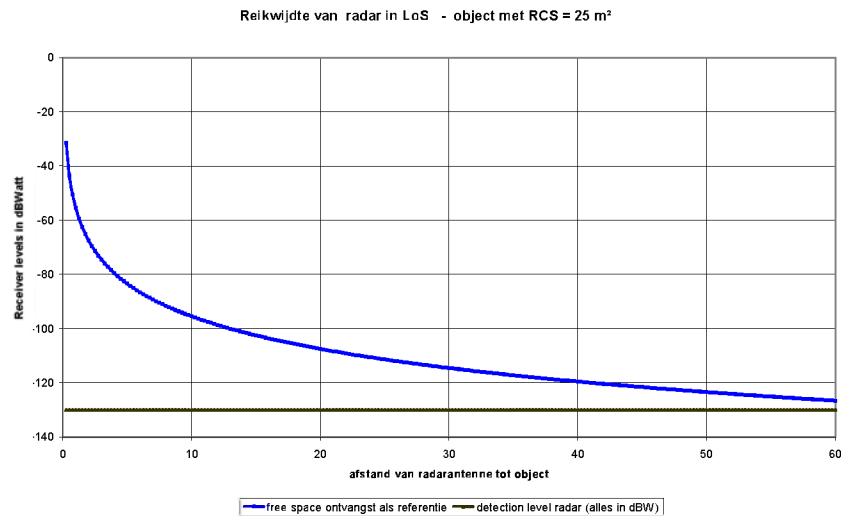
- piekvermogen van de radar: 25 kWatt
- gain van de antenne: 35 dBi
- pulsduur van het signaal: 200 nsec
- bijhorende IF bandbreedte: 8 MHz
- noise floor van de ontvanger: -129 dBW (-99 dBm)

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. Hierbij kan ook aangestipt worden dat de RCS van een windturbine typisch rond 250 m² (23 dBsqm) kan ingeschat te worden, en dat het transformatorstation BOG Alpha, afhankelijk van de grootte van het bestraalde oppervlak, een RCS veel meer dan 1000 m² (30 dBsqm) kan hebben. 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 4.

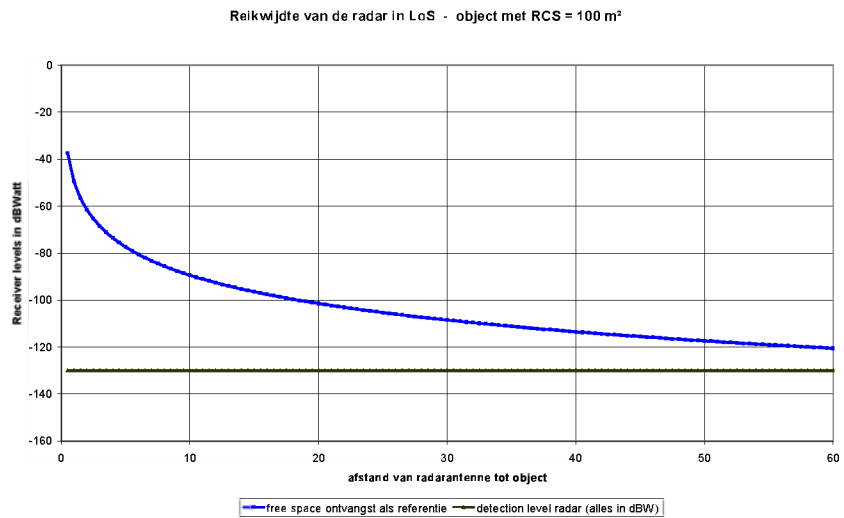
Een trihedral hoekreflector kan ingeschat worden op een RCS van 100 m² en bij een zeer groot containerschip of cruiseschip kan de RCS zelfs oplopen tot 10 000 m² wanneer de zijkant naar de radar gekeerd is. Zie ook sectie 2.4. voor typische RCS waarden van enkele schepen.



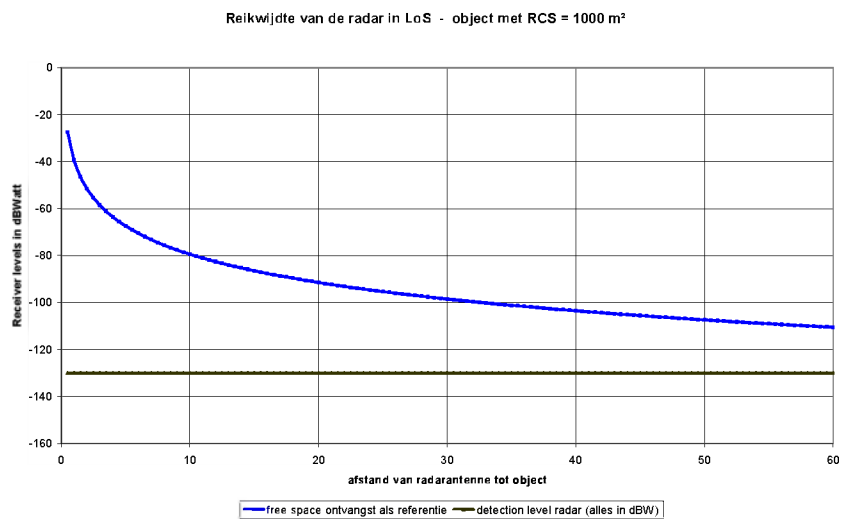
Figuur 11a. Reikwijdte bij een RCS van 1 m²



Figuur 11b. Reikwijdte bij een RCS van 10 m²



Figuur 11c. Reikwijdte bij een RCS van 100 m²



Figuur 11d. Reikwijdte bij een RCS van 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 windturbineparken (masthoogte van de windturbines is gemiddeld 100 m en een tiphoogte van 150 m, met een RCS van 100 m² - figuur 11c) tot op een afstand van zowat 70 km waarneembaar blijven, maar ook een obstakel zullen vormen met een schaduwzone erachter, zodat de achtergelegen zones en vaarroutes volledig gemaskeerd zullen zijn.

Het transformatorstation BOG Alpha ligt in de dichte nabijheid van het Belgische concessiegebied voor windparken op zee, zodat met bovengenoemde schaduwzones rekening dient gehouden te worden.

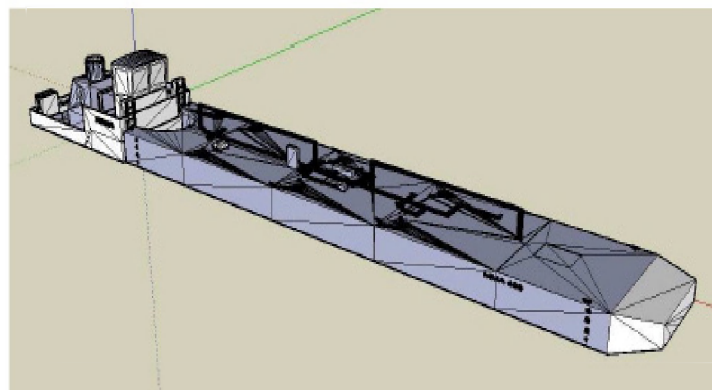
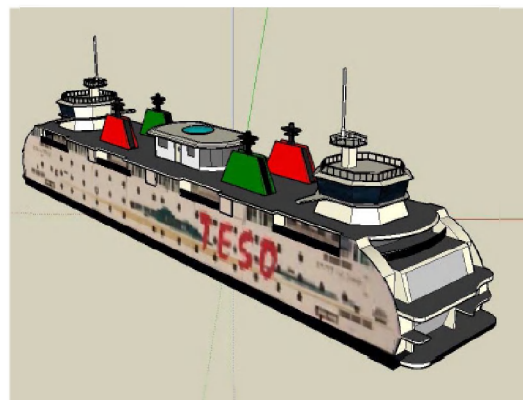
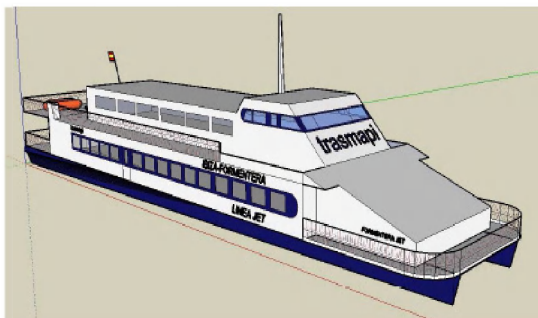
De geometrische reikwijdtes of dus LoS (in km) in functie van de hoogte van de objecten werden reeds in de figuren 4 weergegeven, met volgende gegevens :

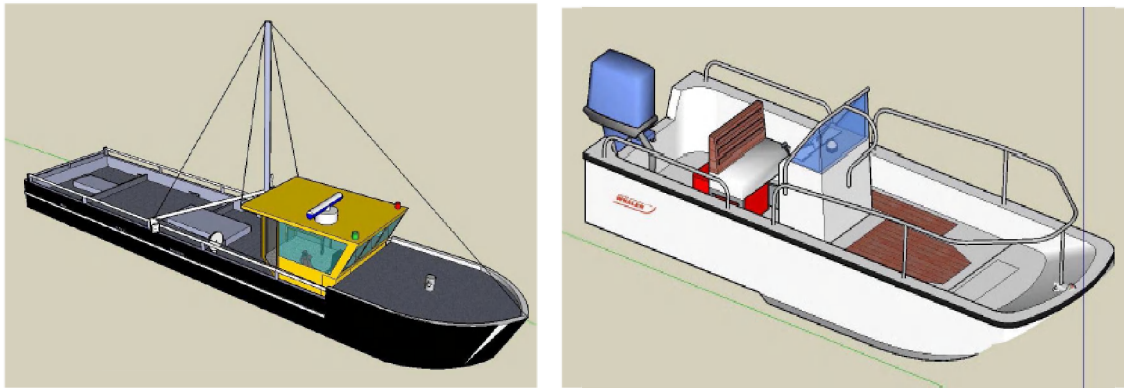
SRK station	masthoogte	schip 3 m	schip 10 m	schip 20 m	WT 100 m
Oostdyckbank	37 m	33 km	39 km	44 km	65 km
Oostende	58 m	39 km	45 km	50 km	73 km
Zeebrugge	40 m	33 km	39 km	44 km	65 km
Cadzand	30 m	30 km	35 km	40 km	60 km
Westkapelle	45 m	34 km	40 km	45 km	70 km
Neeltje Jans	110 m	50 km	56 km	61 km	84 km

Tabel 8. LoS reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

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

Figuur 12. Verschillende types schepen en de bijhorende RCS waarden

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 onshore als offshore. Specifieke rapporten of studies omtrent het effect van een transformatorstation op zee konden niet gevonden worden

In appendix 1 wordt een opsomming gegeven van specifieke studies en rapporten rond offshore windparken en de effecten op de marineradar, en dit zowel voor de walradar als 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 projecten op zee en de walradar, en dit ook omwille van de relatief grote afstand van de kust tot de Belgische projecten (*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.

Een interessant document in dit verband 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 portuaires 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

Uit de analyse van de beschikbare literatuur, papers en presentaties kunnen de volgende zeven belangrijke items en/of effecten gedistilleerd worden. Deze items zullen als dusdanig dan ook systematisch behandeld worden bij de hierna ontwikkelde impactanalyse. Er wordt telkens een detailstudie uitgevoerd voor de SRK walradar (§5), scheepsradar (§6) en de VHF marifone systemen (§7-9, AIS en RDF inbegrepen):

4.1. Controle van de zichtbaarheid van objecten op zee met de Line of Sight (LoS) en rekening houdend met de kromming van de aarde.

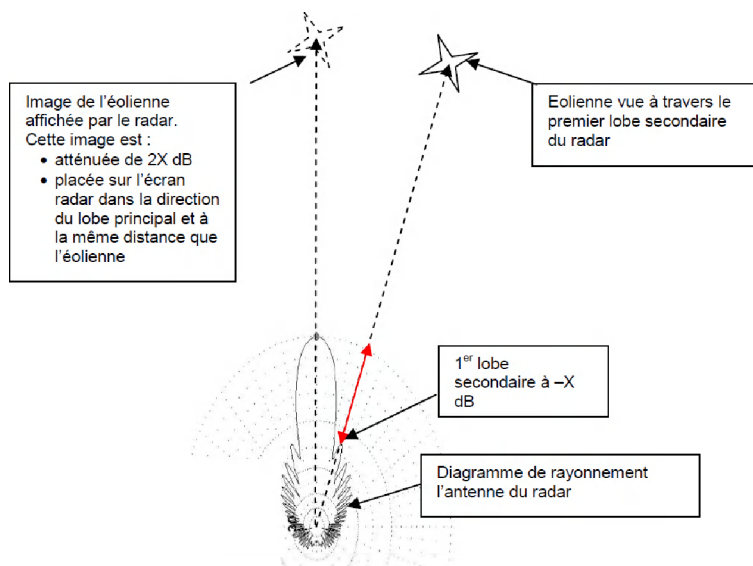
Hierbij wordt verwezen naar sectie 2. van dit rapport, waar dit effect reeds in detail besproken werd.

4.2. Mogelijke detectie door de zijlobes van de radarantenne, waarbij een tweede (virtueel) object wordt waargenomen.

Het optreden van dit effect wordt in figuur 13 in het geval van een groot object zoals een windturbine in het document “Rapport CCE5 n°3 van ANFR”. Het is duidelijk dat dit inderdaad 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.

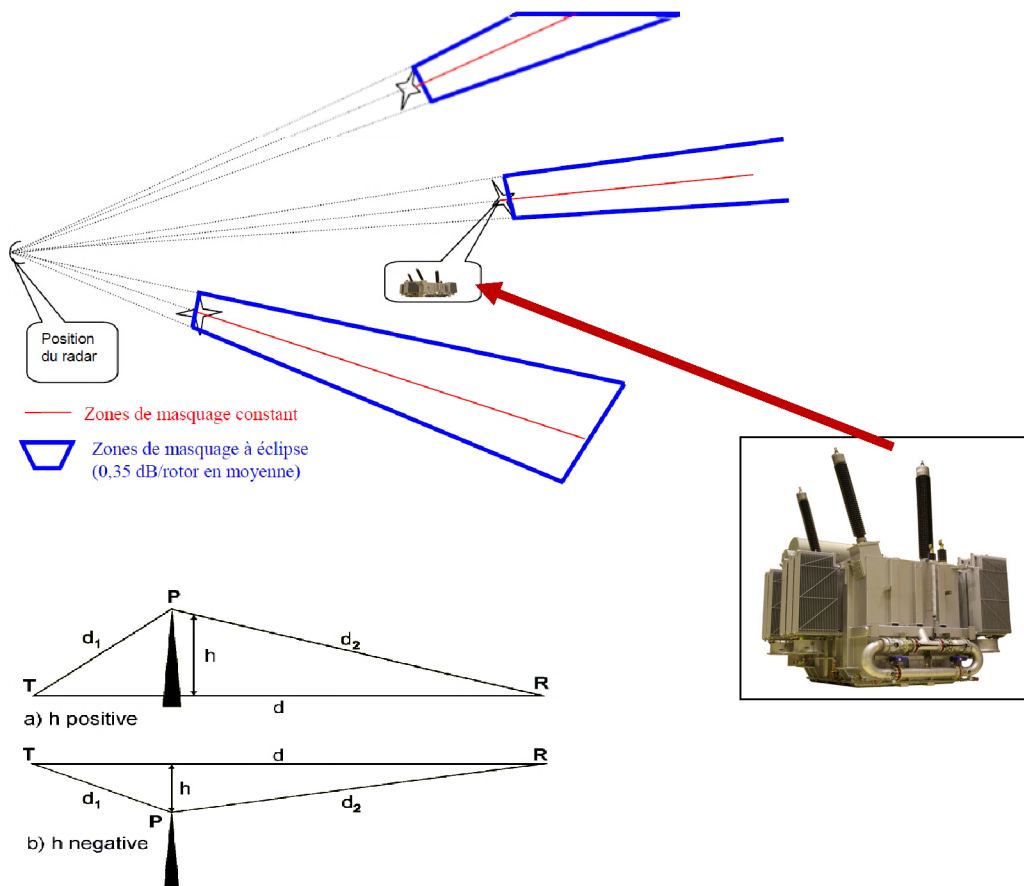
Dit zal voor onderhavige situatie van het transformatorstation BOG Alpha enkel het geval kunnen zijn voor de scheepsradar.

4.3. Shadowing en mogelijke dode zones achter een groot object. Hierdoor ontstaan achter het object dode of radarblinde zones, of 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 14.



Figuur 13. Detectie door zijlobes – ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR

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 attenuatie van het radarsignaal optreden.



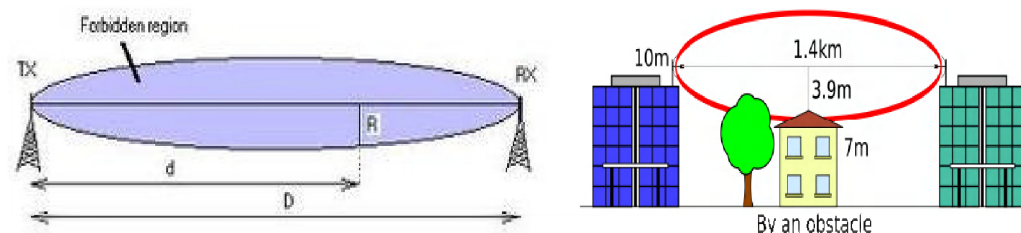
Figuur 14. Dode zones en schaduwzones achter een groot object - ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR en Fresnel edge attenuation

4.4. Mogelijke onvoldoende vrije doorgang tussen grote objecten (Fresnel voorwaarden).

Dit is vooral van belang voor de doorzichtigheid van grotere constructies.

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. Voor het betreffende transformatorstation zijn deze studies niet direct van toepassing, aangezien het transformatorstation als één groot aansluitende geheel dient gezien en gemodelleerd te worden.

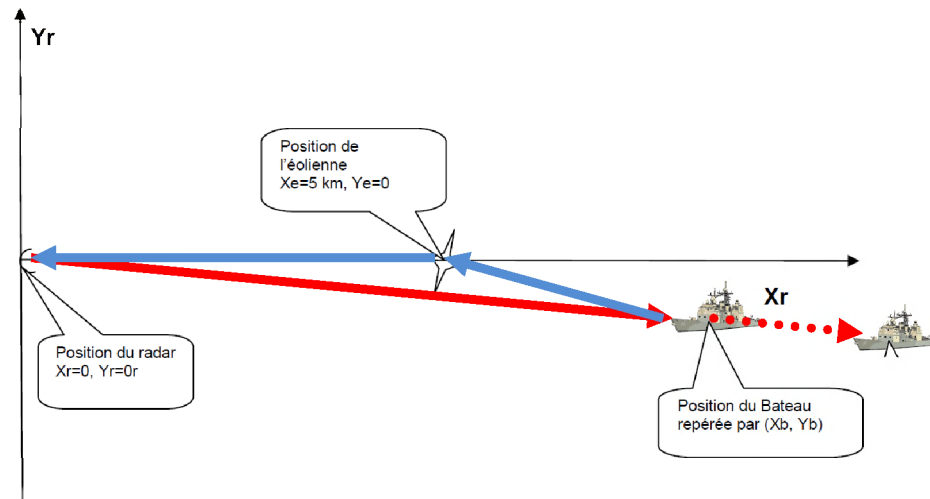
De voorwaarden voor een voldoende doorgang van een radiosignaal worden gegeven door de Fresnel ellips. Hierbij bepaalt de factor n de graad van protectie van de communicatie, waarbij $n=1$ als voldoende wordt beschouwd voor de basisvorm van radiocommunicatie, en ook voor radar het geval is. In figuur 15 hieronder wordt dit schematisch weergegeven.



$$R^2 = (n * \lambda * d * (D-d)) / (D)$$

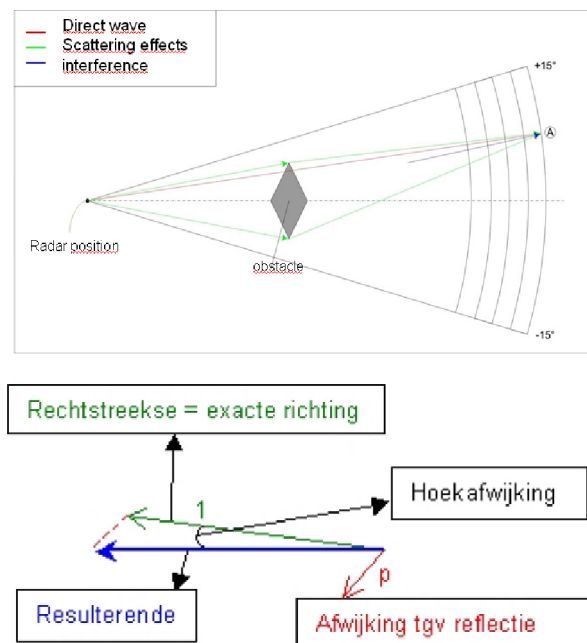
Figuur 15. Voorbeeld Fresnel ellips

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 object zijn, als een tweede schip, afhankelijk van de oriëntatie van de radarantenne. In figuur 16 wordt een voorbeeld geschetst waarbij een tweede schip zou waargenomen worden.



Figuur 16. Meervoudige reflectie met een virtueel object als valse echo - ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR

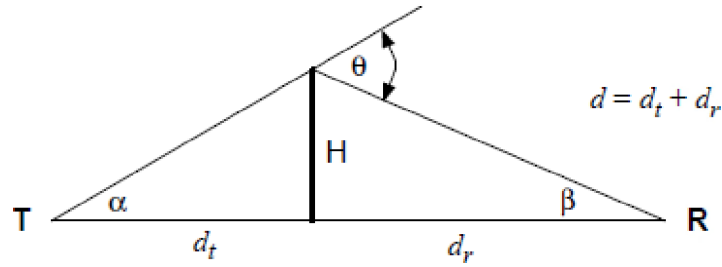
4.6. Diffractie en multipath propagatie, met range en azimuth fouten voor de localisatie van een object. Door de propagatie rond en omheen een grotere objecten zijn er verschillende weglengtes van de verschillende signalen tot bij het waar te nemen voorwerp (vb. een schip), en de reflecties. Op die manier 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 17. Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effecten.

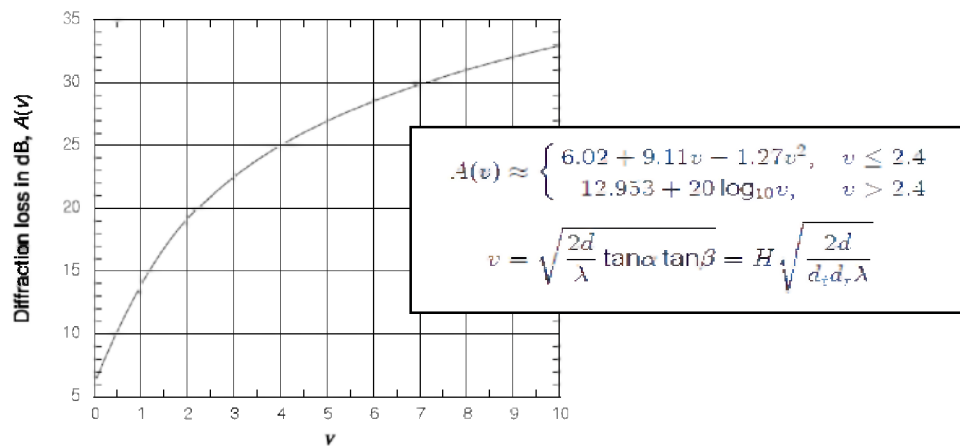
4.7. Attenuatie van het radarsignaal, te wijten aan het object als obstakel

Voor een eenvoudige vorm (paal, windturbine, hoogspanningsmast, enz. ...) kan een eenvoudig “Fresnel knife edge” model gebruikt worden, zoals in figuur 18 aangegeven.



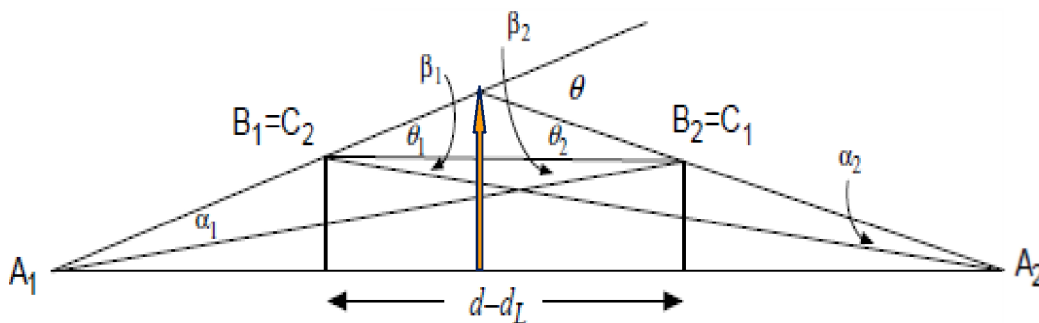
Figuur 18. Fresnel knife edge model

De attenuatie van het signaal kan dan benaderd worden door de volgende formule, die in grafiek wordt gegeven in figuur 17.

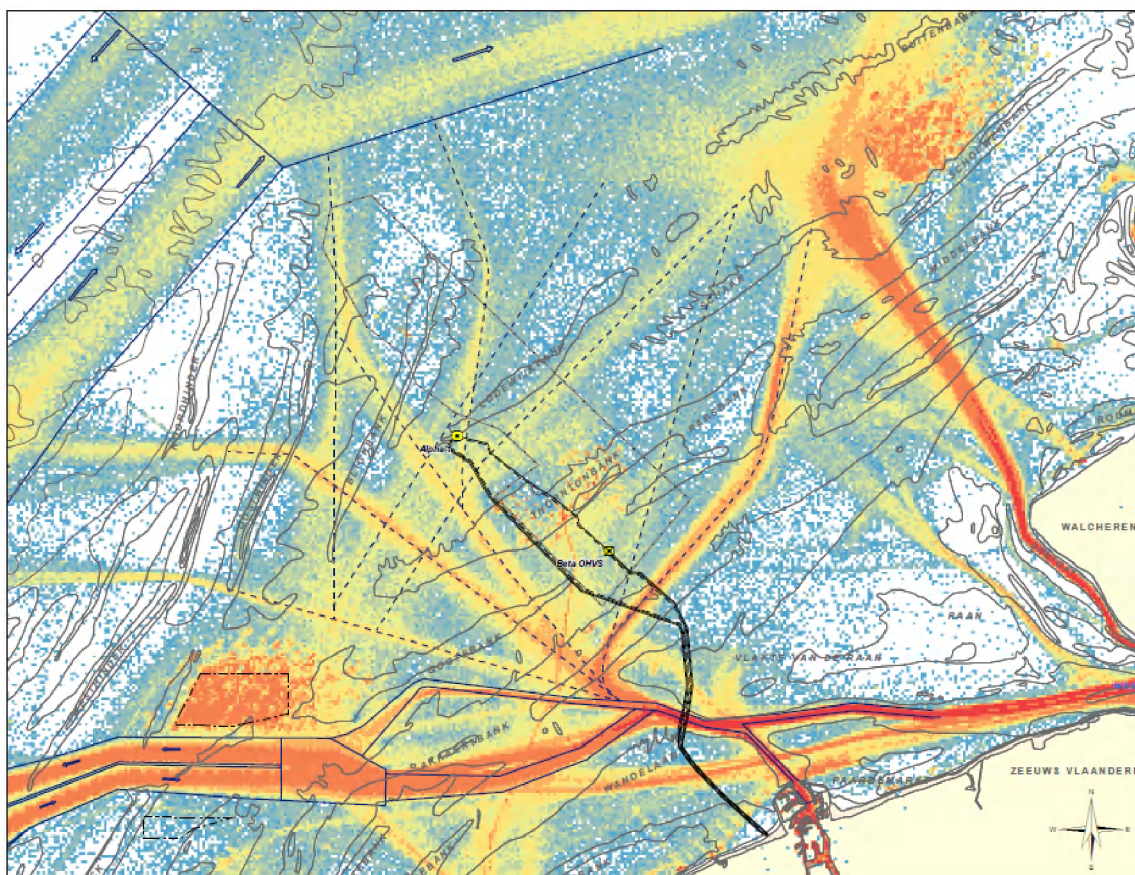


Figuur 19. Attenuatie bij Fresnel knife edge modellen

Bij meerdere obstakels of een groter object (zoals een gebouw) kan de Bullington benadering gebruikt worden, waarbij een virtueel object wordt gecreëerd, uitgaande van de raaklijnen tussen zender, object en ontvanger. Dit wordt in figuur 20 geschetst.



Figuur 20. Bullington benadering voor diffractie bij grote objecten



Figuur 23. Typisch scheepvaartverkeer in het betreffende gebied

Uit de verschillende afzonderlijke studies omtrent de mogelijke impact van de windparken met betrekking tot de SRK radars, blijkt duidelijk dat het project BOG Alpha in de schaduwzones komt te liggen voor de Nederlandse radarstations en dat dus enkel de Vlaamse SRK radarstations dienen in aanmerking genomen te worden.

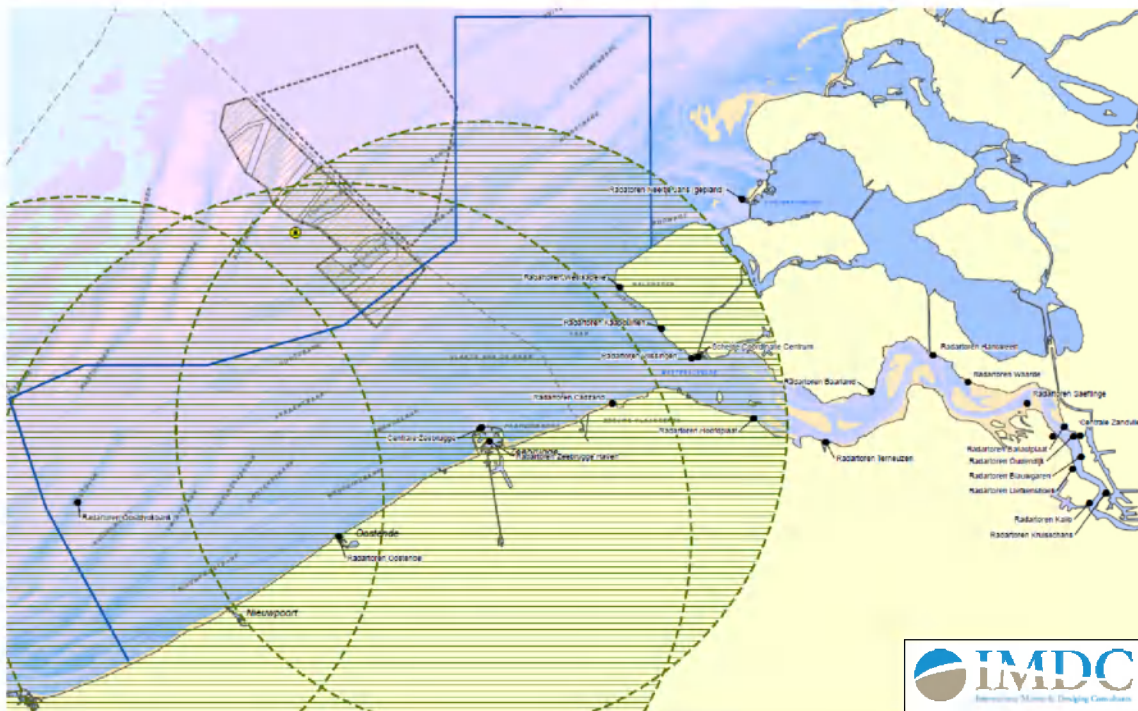
De twee volgende figuren 24 en 25 tonen dan een schematische voorstelling van het bereik van de SRK radarstations, opgesplitst in de Vlaamse (figuur 24) en Nederlandse (figuur 25) radarstations.

Ter illustratie wordt het LoS bereik van de SRK radarstations aangegeven voor een gemiddeld schip, met een waarnemingshoogte tot 10 m.

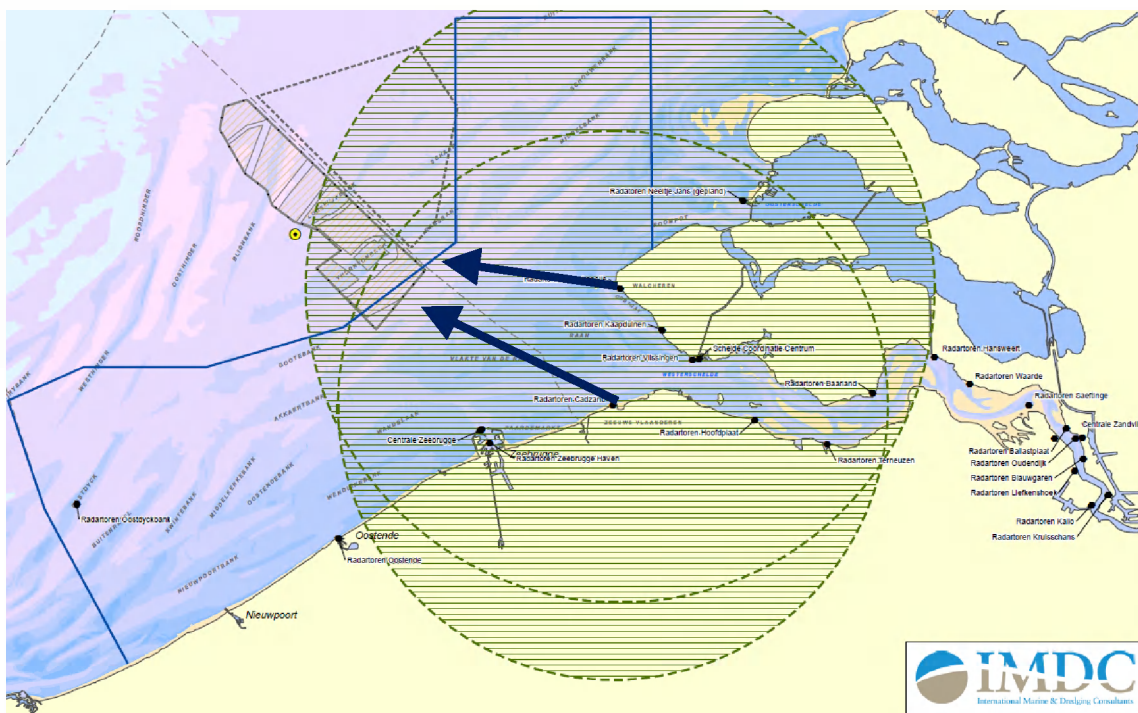
Rekening houdend met de windparken in het Belgische concessiegebied, en de Nederlandse projectzone Borssele, is het eerst en vooral duidelijk dat alleen de Vlaamse SRK radarstations in deze studie dienen betrokken te worden. De LoS zones in de figuren 24 en 25 geven telkens het geografische bereik van de SRK radarstations zonder enige invloed van de windparken op zee, zodat het effectieve en feitelijke bereik in de praktijk kleiner zal zijn.

Ook de radarinstallatie op de Oostdijkbank reikt (net) niet tot aan de projectzone BOG Alpha en zal verder niet in detail in deze studie worden meegenomen.

Verder kan ook gesteld worden dat voor wat de SRK radar betreft, het transformatorstation als één grote “wand” van zo’n 55 x 20 m mag genomen worden als een generiek object.



Figuur 24. LoS van de Vlaamse radarinstallaties voor een objecthoogte van 10 m



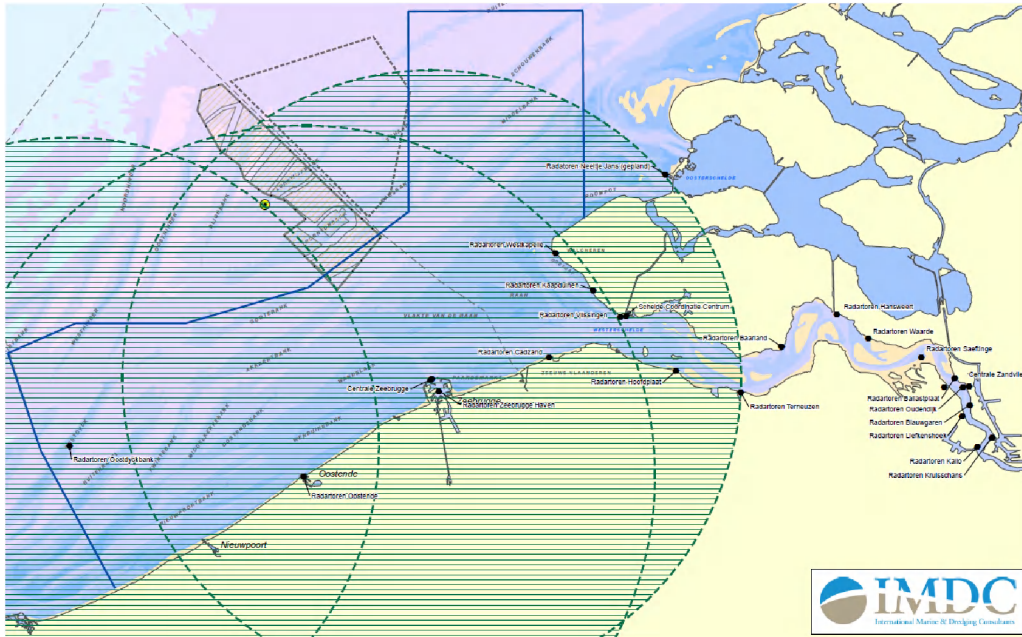
Figuur 25. LoS van de Nederlandse radarinstallaties voor een objecthoogte van 10 m

In verband met de veiligheid van de scheepstrafiek kan verder verwezen worden naar de betreffende hoofdstukken in de MER studie omtrent de cumulatieve effecten en risico's voor de veiligheid van de scheepvaart in de projectzone.

De specifieke situatie bij een volledige invulling van het concessiegebied en de realisatie van BOG Alpha wordt nu in detail voor elk betrokken radarstation afzonderlijk besproken.

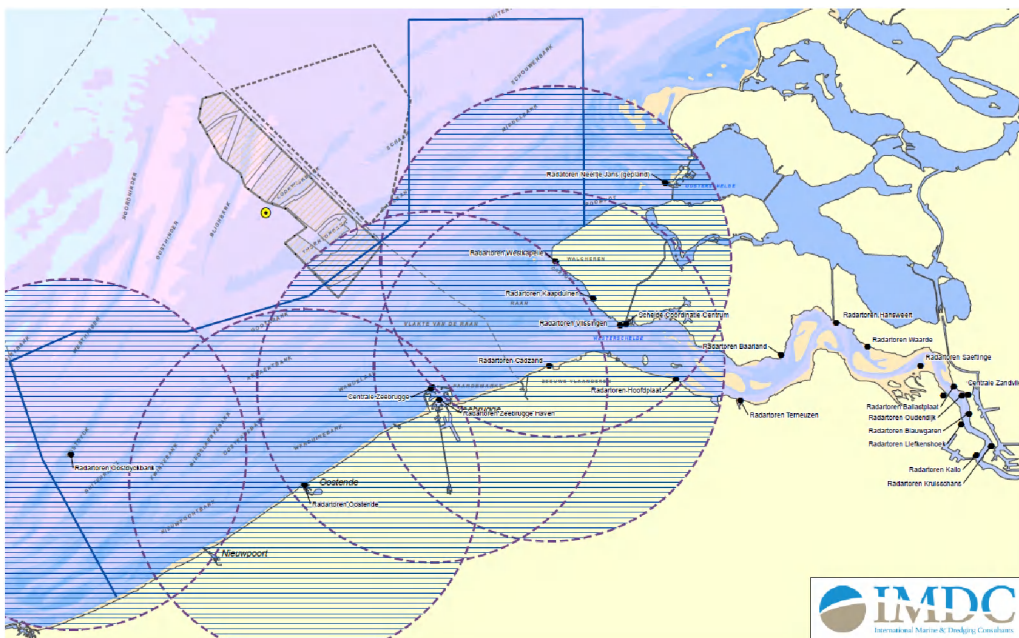
5.1. Controle van de zichtbaarheid van het transformatorstation

In eerste instantie wordt nog gecontroleerd of het transformatorstation voldoende zichtbaar is voor de betreffende radarstations, binnen de beperkingen van geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de radarinstallaties. De volgende figuur 26 geeft de cumulatieve reikwijdte aan van de verschillende radarstations, waarbij eenzelfde objecthoogte als voor het transformatorstation van 20 m werd aangehouden.

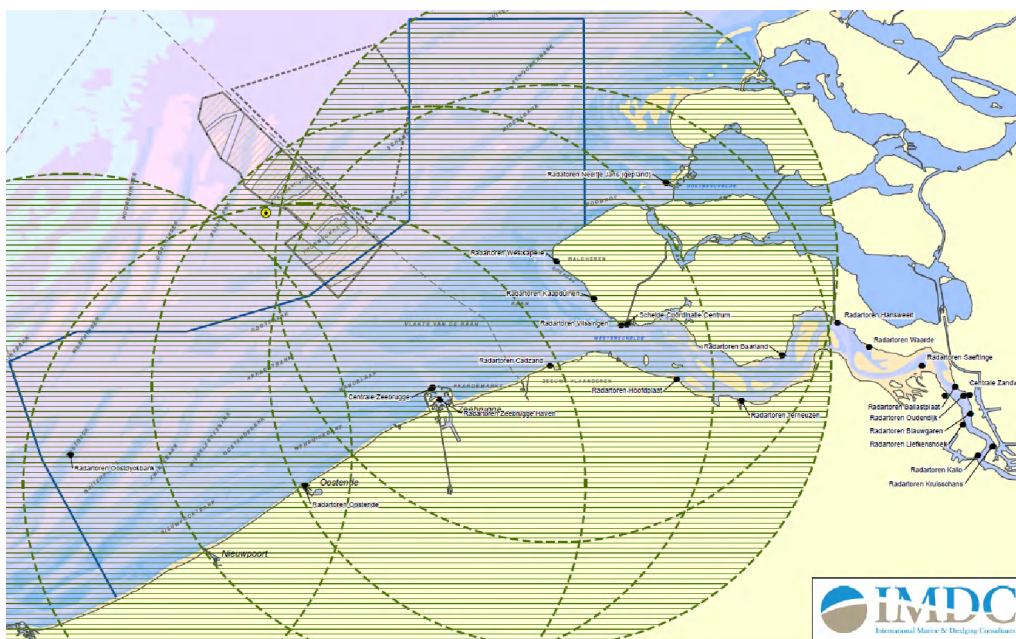


Figuur 26. LoS bereik van de SRK radarstations Oostdijkbank, Oostende en Zeebrugge, bij een hoogte van 20 m van het BOG Alpha transformatorstation

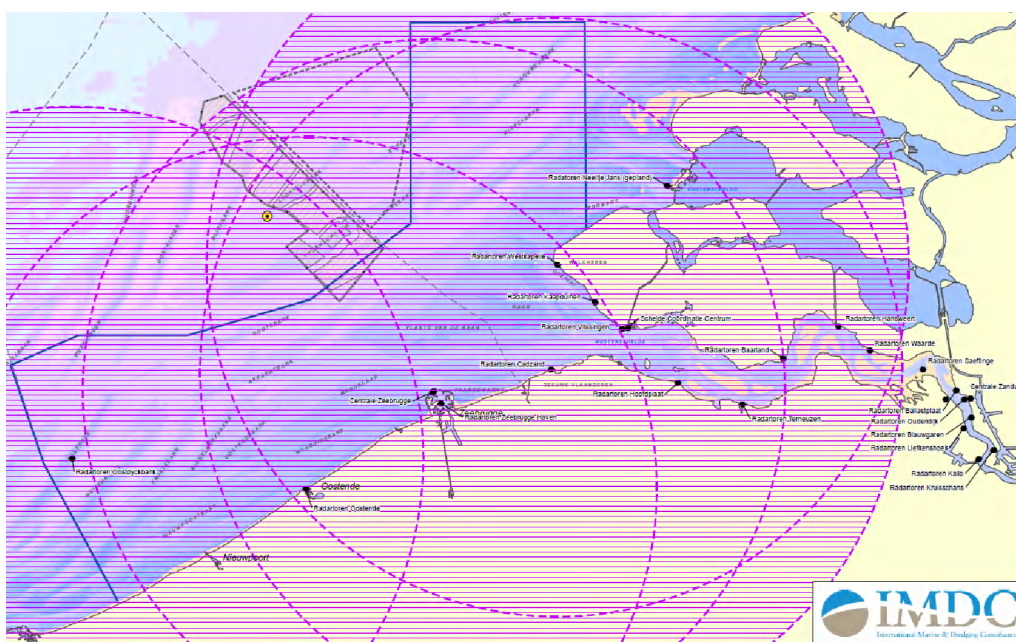
Een alternatieve manier om het bereik van de SRK radars te beschrijven is aan de hand van de detectie van objecten met een verschillende RCS, waarbij dient in aanmerking genomen te worden dat het geografische LoS bereik evenzeer een beperkende factor is.



Figuur 27a. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 1 m²



Figuur 27b. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 10 m^2

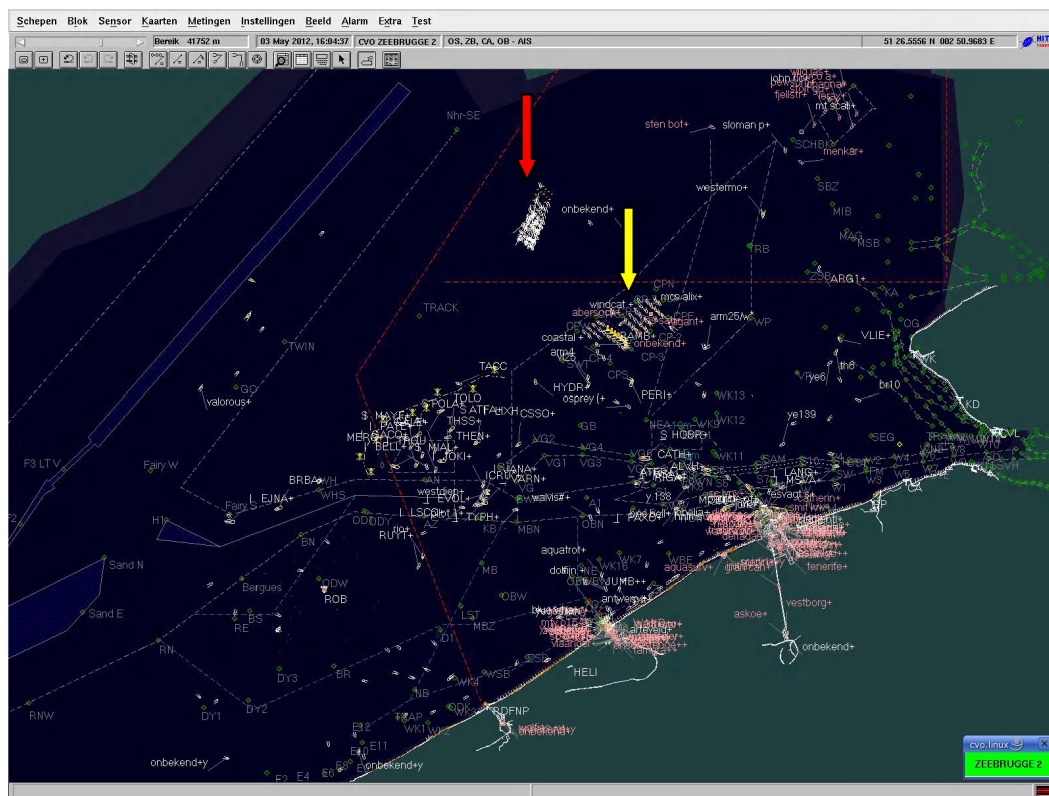


Figuur 27c. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 25 m^2

Uit bovenstaande analyse en grafieken volgt dus dat voor objecten met een zeer kleine RCS ($< 1 \text{ m}^2$), de gevoeligheid van de radarinstallaties de beperkende factor is, en niet de Line of Sight. Voor objecten met een grotere RCS ($> 25 \text{ m}^2$) 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 reeds het geval voor het BOG Alpha transformatorstation, dat slechts gedeeltelijk zichtbaar zal zijn, gezien de horizonafstand voor de radarstations van Oostende en Zeebrugge ongeveer 18 km is.

In ieder geval reikt het bereik van de radarstations van Oostende en Zeebrugge – onder een aantal gecombineerde omstandigheden van objecthoogte en RCS waarde – tot aan/over het projectgebied BOG Alpha.

Daarom moet dus de attenuatie ten gevolge van het transformatorstation – de zogenaamde Fresnel edge attenuation – in aanmerking genomen worden om het effectieve bereik van de SRK radar bij de realisatie van dit transformatorstation op zee te kunnen inschatten.



Figuur 28. Screenshot van de reële radarwaarnemingen

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

Uit bovenstaande figuur 28 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 figuren 27a-c was aangegeven.

5.2. Shadowing en dode zones

Het optreden van dit effect kan alleen maar wanneer het transformatorstation BOG Alpha 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 een variabel LoS bereik op. Bovendien hangt de actieve reikwijdte ook nog af van de bijhorende RCS van het object.

Uit de verschillende afzonderlijke studies omtrent de mogelijke impact van de windparken met betrekking tot de SRK radars, blijkt duidelijk dat het project BOG Alpha in de schaduwzones komt te liggen voor de Nederlandse radarstations en dat dus enkel de Vlaamse SRK radarstations dienen in aanmerking genomen te worden.

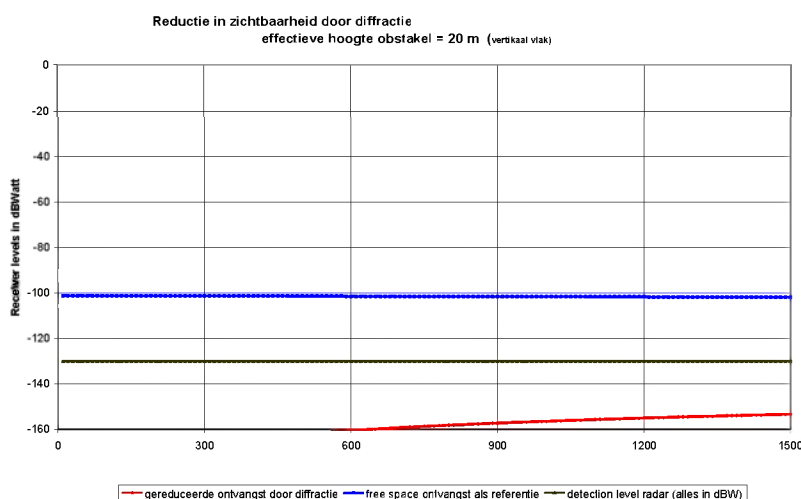
Hierbij kan verwezen worden naar de figuren 24 en 25, met een schematische voorstelling van het bereik van de SRK radarstations, opgesplitst in de Vlaamse (figuur 24) en Nederlandse (figuur 25) radarstations.

De Fresnel edge attenuation voor een object geeft aanleiding tot een verminderde gevoeligheid achter het object, waarvoor het model van Bullington wordt angewend. Voor de SRK radars worden de afmetingen van de gebouwen aangenomen, gegeven de grote afstand tussen radar en object, waardoor de Bullington-correctie minimaal wordt.

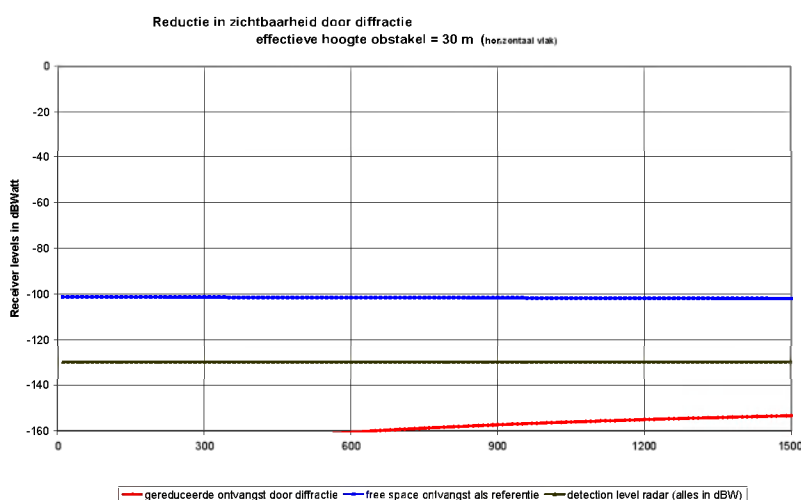
In de volgende figuren wordt deze attenuatie gegeven voor het transformatorstation op een afstand van 35 km, en een groot object met een RCS van 1000 m² in lijn achter BOG Alpha. Voor een meer gedetailleerde bespreking wordt verwezen naar de sectie 5.2. van dit rapport.

Uit voorgaande beschouwingen is het echter duidelijk dat het transformatorstation BOG Alpha op zee reeds op het grensgebied ligt van de waarneembaarheid door de SRK radarstations, en dit in functie van zowel de LoS (hoogte van de objecten) als de RCS van de verschillende types schepen op de omliggende vaarroutes.

Deze bijkomende Fresnel edge attenuation maakt dat telkens de zone in lijn achter het transformatorstation niet meer zichtbaar zal zijn voor de betreffende radar.



Figuur 29. Fresnel attenuation achter BOG Alpha, voor de hoogte van BOG Alpha op 35 km afstand, object met RCS = 1000 m²



Figuur 30. Fresnel attenuation achter BOG Alpha voor de breedte van BOG Alpha op 35 km afstand, object met RCS = 1000 m²

Hieruit blijkt duidelijk dat er voor de SRK radars achter het transformatorstation BOG Alpha een zeer aanzienlijke radarblinde zone zal ontstaan.

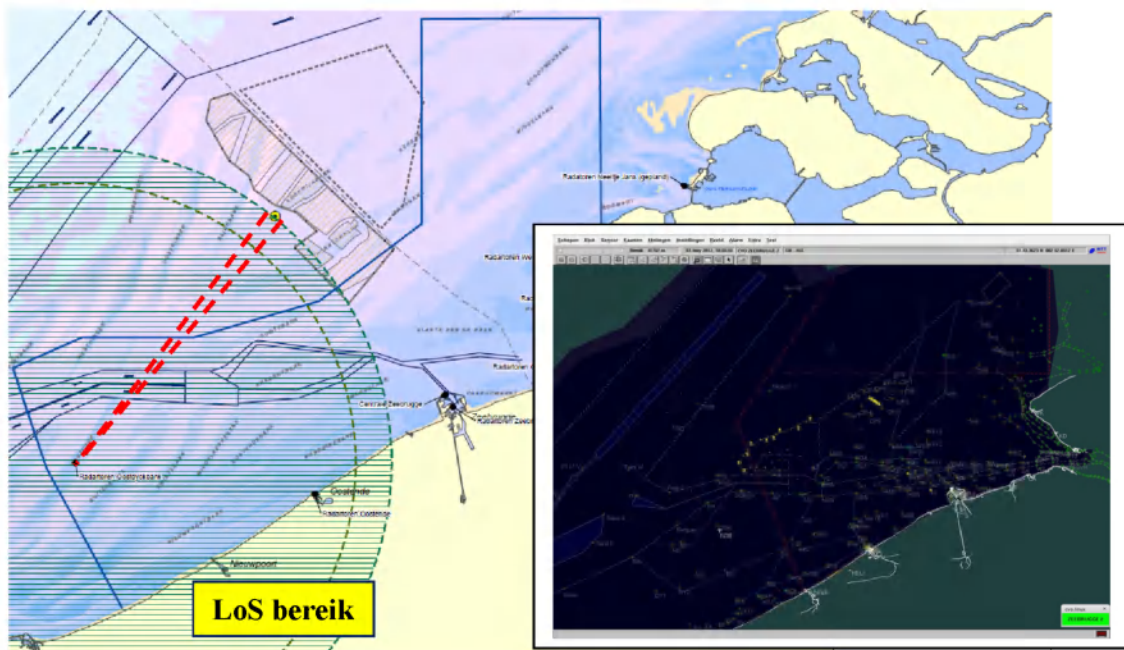
De bedoeling is hierbij na te gaan in hoeverre het transformatorstation BOG Alpha al dan niet zichtbaar is voor de SRK radar, dan wel reeds in een radarblinde zone gelegen is.

- LoS bereik bij een objecthoogte van 3 m (*cirkel aangegeven met een label 'LoS'*)
- LoS bereik bij een objecthoogte van 10 m en 20 m (*cirkels aangegeven met een label 'LoS'*)

Zoals hoger reeds aangehaald is het duidelijk dat het projectgebied BOG Alpha in de schaduwzones ligt van de Nederlandse SRK radarstations, zodat deze voor onderhavige studie niet dienen in aanmerking genomen te worden.

In de onderstaande figuren 31 wordt het LoS bereik voor de radar op de Oostdijckbank, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij objecthoogten van 10m en 20 m gegeven. Dit zijn typische waarden voor klein en middelgrote schepen.

40



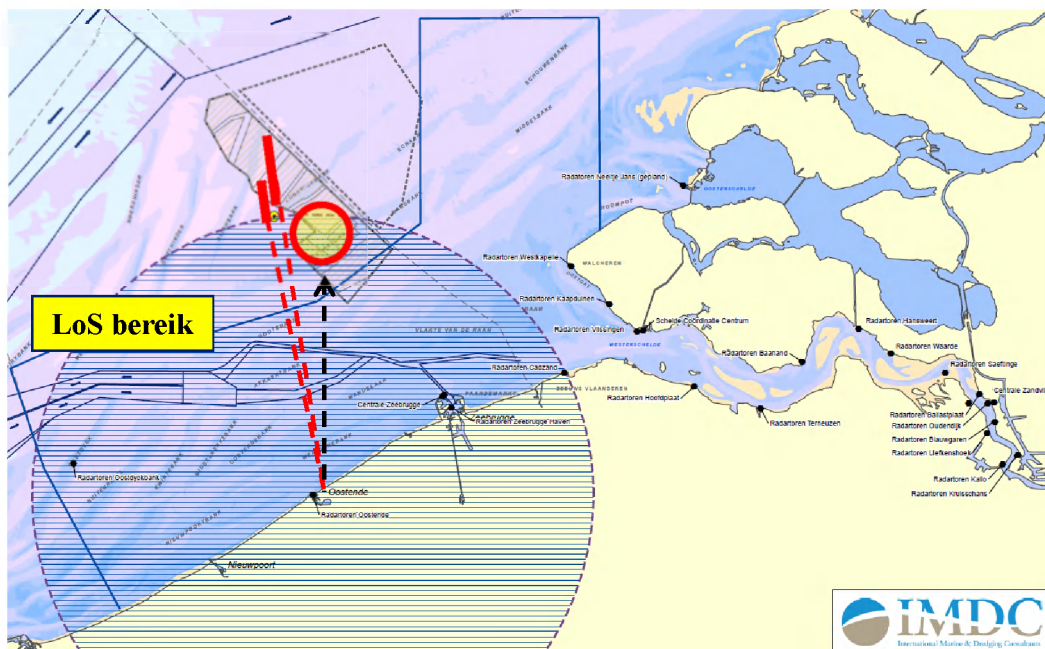
Figuur 31b. Radarbereik bij LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Oostdijkbank

Voor de radar op de Oostdijkbank 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).

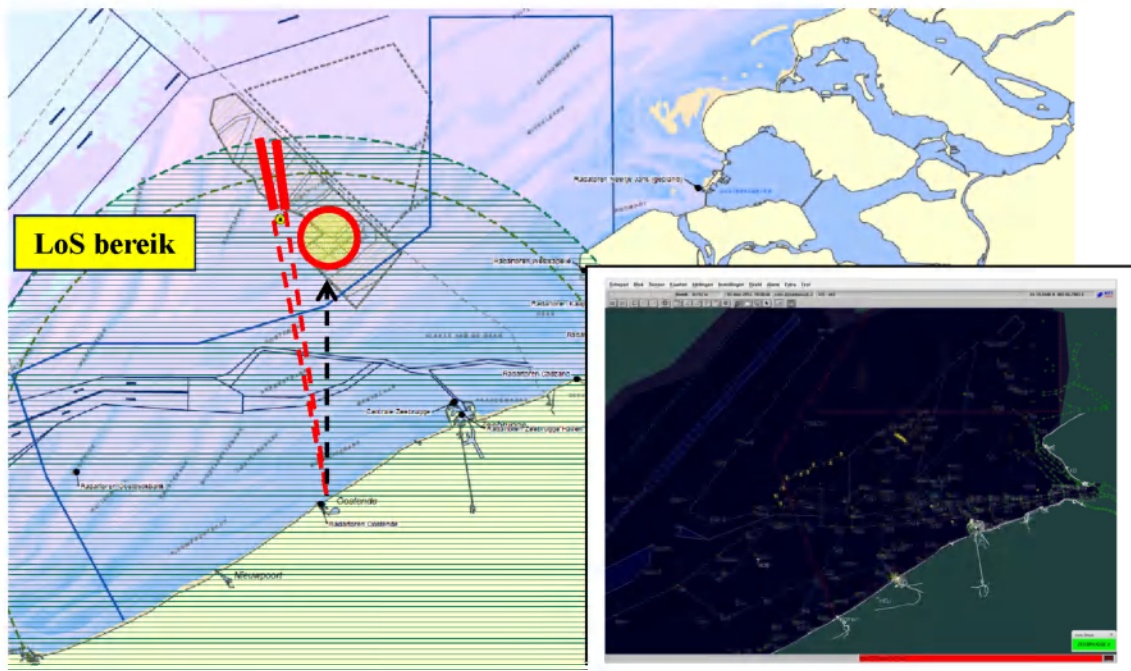
5.2.2. Radar van Oostende (nieuwe radartoren)

In de onderstaande figuren 32 wordt het LoS bereik voor de radar van Oostende, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij objecthoogten van 10m en 20 m gegeven. Dit zijn typische waarden voor klein en middelgrote schepen.

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).



Figuur 32a. Radarbereik bij een LoS objecthoogte van 3 m, Oostende – nieuwe toren



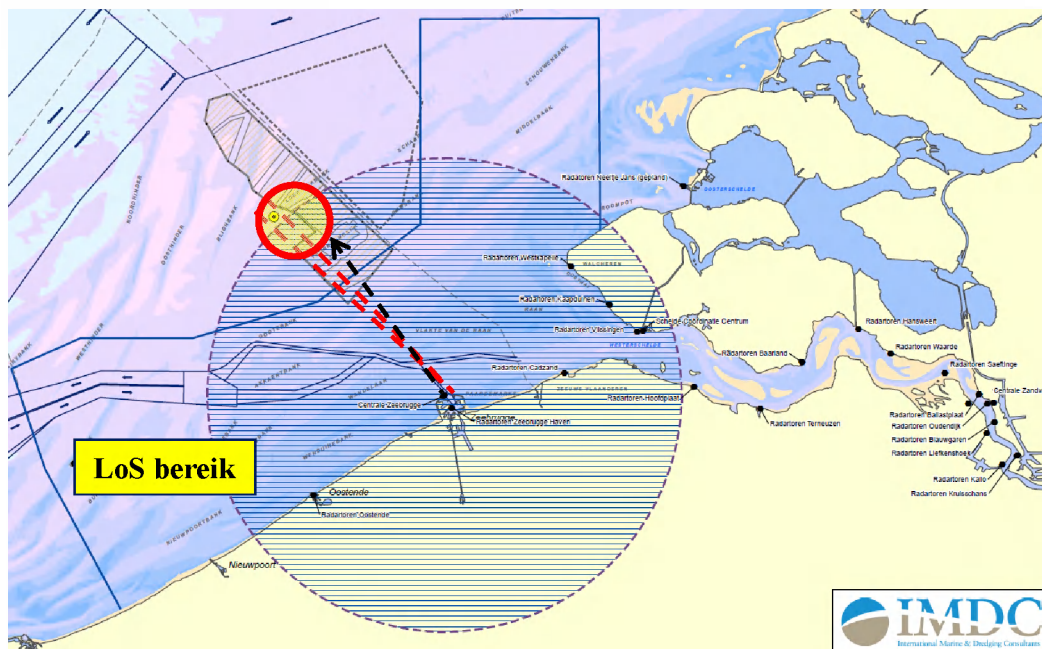
Figuur 32b. Radarbereik bij LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Oostende – nieuwe toren

Voor het radarstation van Oostende (ook met de nieuwe antennetoren), blijft de impact beperkt tot een schaduwzone achter het transformatorstation. Uit de grafieken van figuren 29 en 30 volgt evenwel dat dit een radarblinde zone wordt voor de SRK radar Oostende.

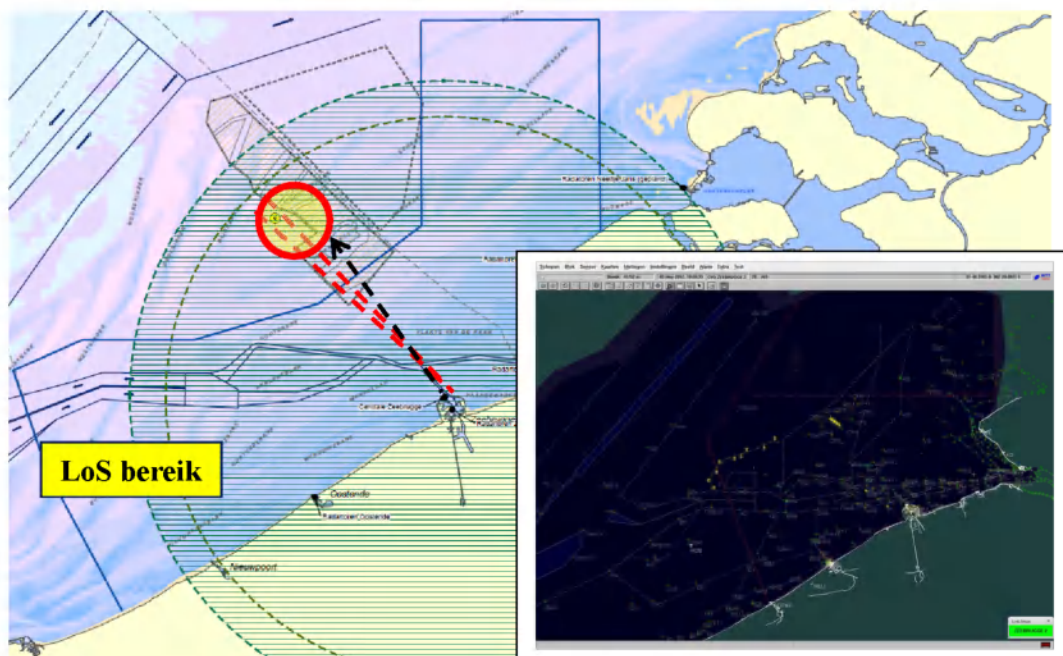
5.2.3. Radar van Zeebrugge

In de onderstaande figuren 33 wordt het LoS bereik voor de radar van Zeebrugge, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij objecthoogten van 10m en 20 m gegeven. Dit zijn typische waarden voor klein en middelgrote schepen.

De inzet in de onderste kaart is een screenshot van het radarbeeld in de SRK radarcentrale van Zeebrugge voor de radar van Zeebrugge.



Figuur 33a. Radarbereik bij een LoS objecthoogte van 3 m, Zeebrugge

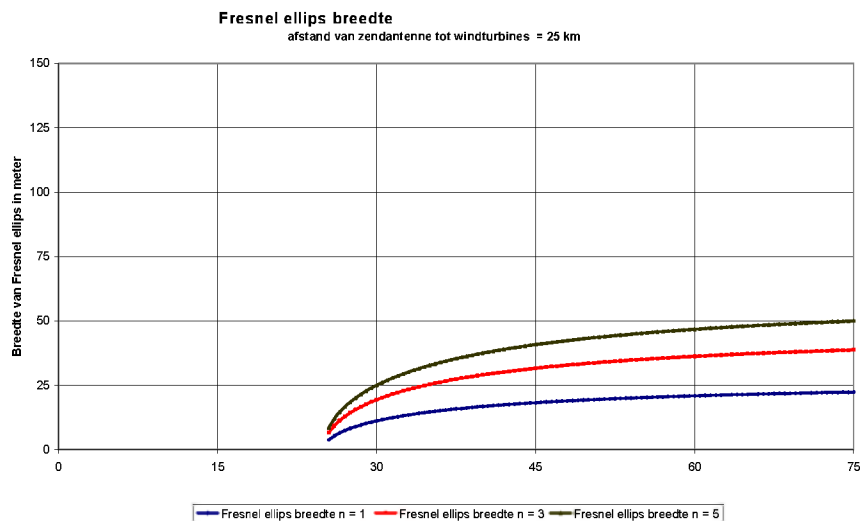


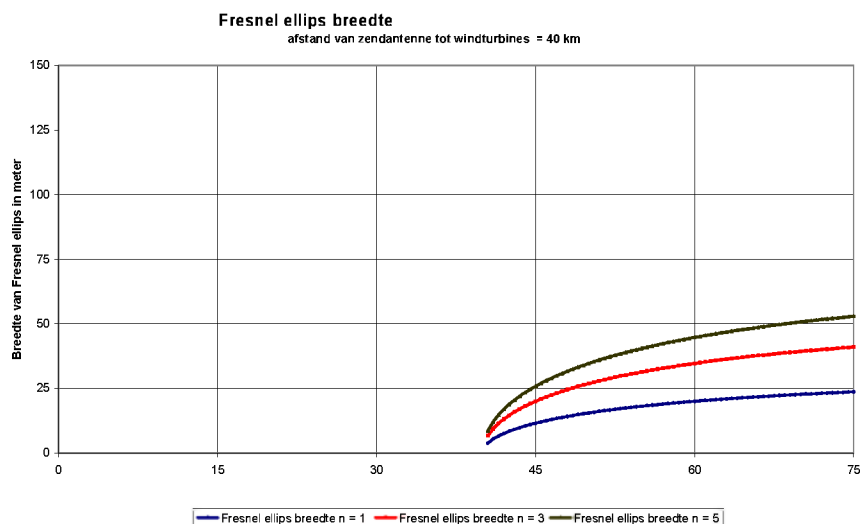
Figuur 33b. Radarbereik bij LoS objecthoogten van 10 m en 20 m, Zeebrugge

Voor wat het radarstation van Zeebrugge betreft dient genoteerd te worden dat het transformatorstation BOG Alpha volledig in de schaduwzone van de voorliggende windparken Norther en C-Power ligt, en waarbij dus geen bijkomende cumulatieve effecten te verwachten zijn. De betreffende zone is dus reeds een aandachtspunt naar radaropvolging.

5.3. *Vrije Fresnel doorgang doorheen het transformatorstation en omliggende windparken*

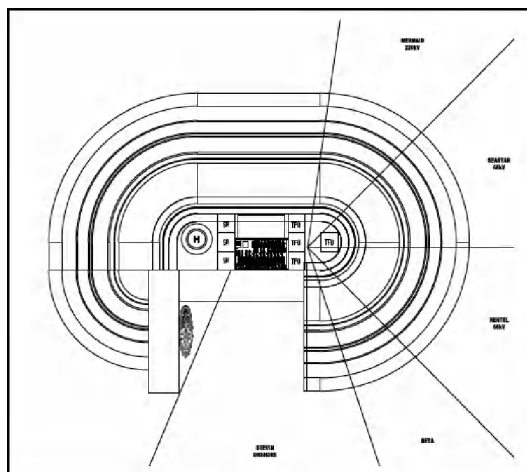
Om een voldoende vrij transmissiepad te verkrijgen voor radiosignalen (en radarsignalen) is een vrije ruimte nodig, die kan ingeschat worden aan de hand van de Fresnel ellips. Voor een primaire radar is daarbij geen hoge protectiegraad nodig, en mag de bijhorende parameter $n=1$ genomen worden. Voor zowel de windparken als het transformatorstation BOG Alpha 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 projectgebied BOG Alpha). Hieruit blijkt dat een voldoende vrije doorgang behouden blijft indien tussen de objecten open transmissiepaden voorkomen met een breedte van 50 m ($2 \times$ de Fresnel straal).





Figuur 34. Fresnel ellips voorwaarden voor vrije radiopropagatie tussen objecten, bij een afstand van radar tot een obstakel van 25 km (boven) en 40 km (onder)

Gegeven het concept en de opbouw van het transformatorstation BOG Alpha (Figuur 35), volgt hieruit dat er geen radar of radiocommunicatie doorheen dit project zal mogelijk zijn.



Figuur 35. Schematische voorstelling van de opbouw van het BOG Alpha station

Voor de volledigheid van deze studie wordt hieronder ook deze Fresnel voorwaarde besproken voor de verschillende windturbineparken binnen het concessiegebied met betrekking tot de verschillende SRK radarstations, en waaruit nog eens duidelijk blijkt dat het transformatorstation BOG Alpha reeds in de schaduwzone/radarblinde zone ligt van de Nederlandse SRK stations en van het SRK radarstation van Zeebrugge.

Gegeven de rotordiameter zullen de windturbines in de parkconfiguratie op een voldoende grote afstand uit elkaar staan, waardoor dus quasi automatisch aan de Fresnel voorwaarde voldaan wordt. 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 een attenuatie zoals in paragraaf 5.2. besproken zich over de volledige breedte van een windpark zal voordoen.

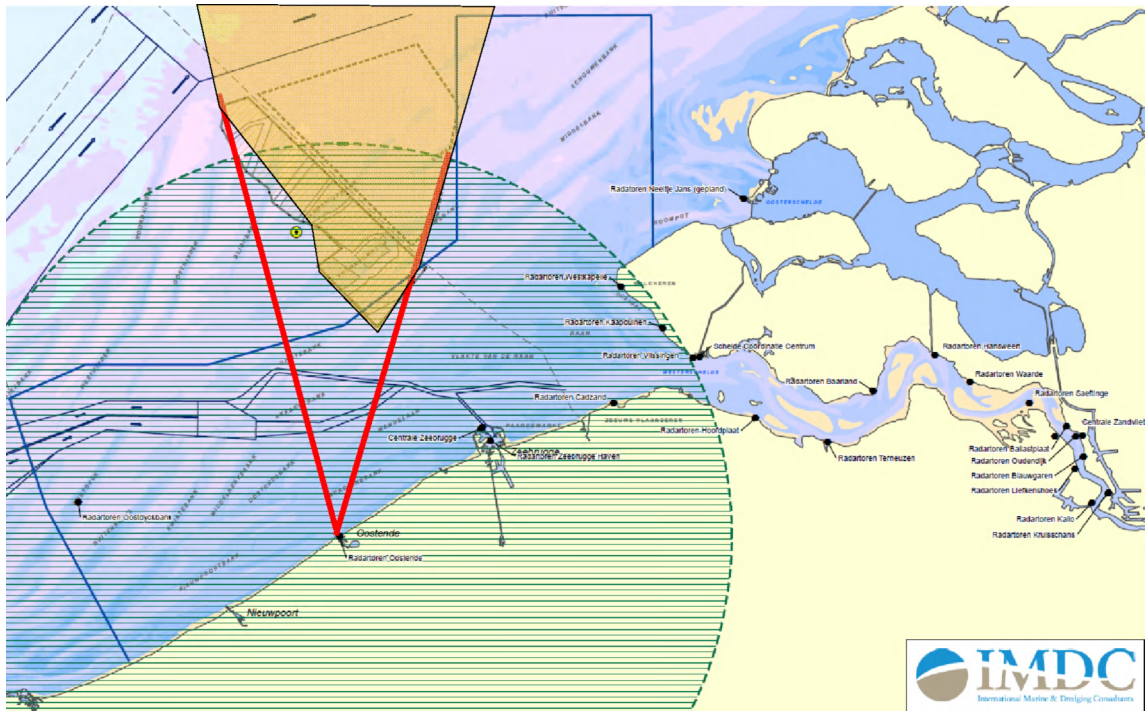


Figuur 36. Voorbeelden van een “clustering” bij meerdere niet-opgelijnde windturbines

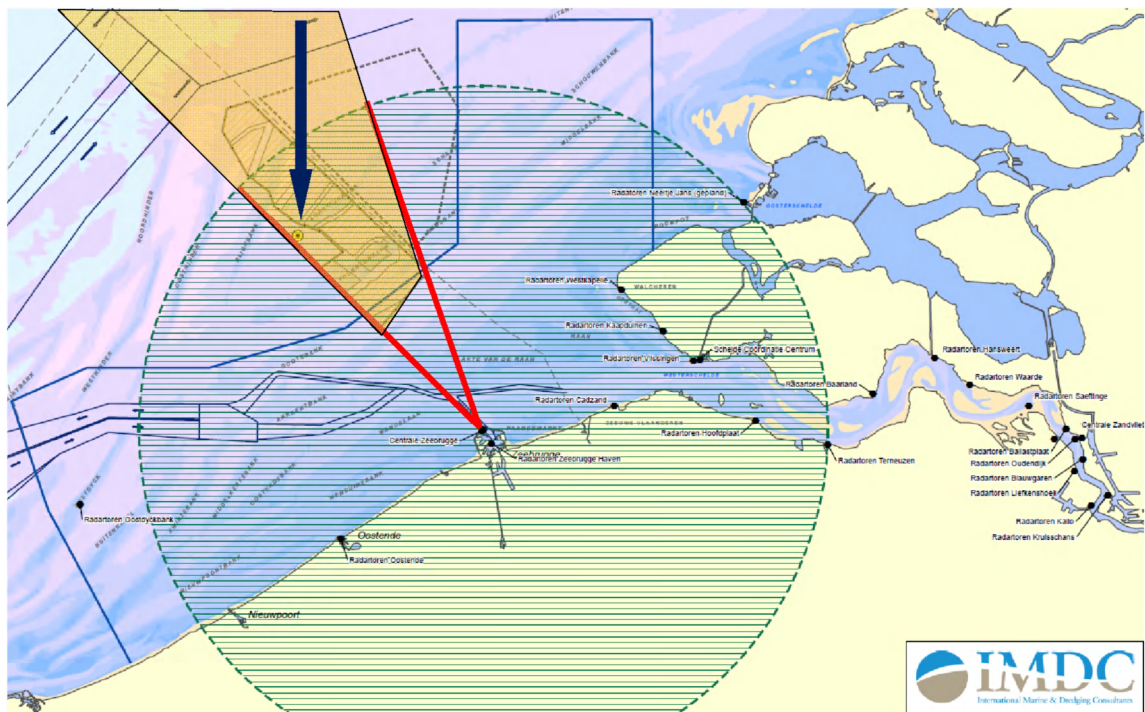
Er wordt dus geen rekening gehouden met een mogelijke doorzichtigheid van elk individueel windturbinepark afzonderlijk, noch voor het geheel van alle offshore windparken binnen het concessiegebied. De cumulatieve effecten ten gevolge van meerdere windturbineparken zullen die ondoorzichtigheid alleen maar accentueren.

In de volgende figuren wordt een schematisch overzicht gegeven van de blinde radargebieden, ten gevolge van de offshore windparken gelegen in het concessiegebied (cumulatief effect) op het BCP, voor de dichtst bijgelegen SRK radarstations.

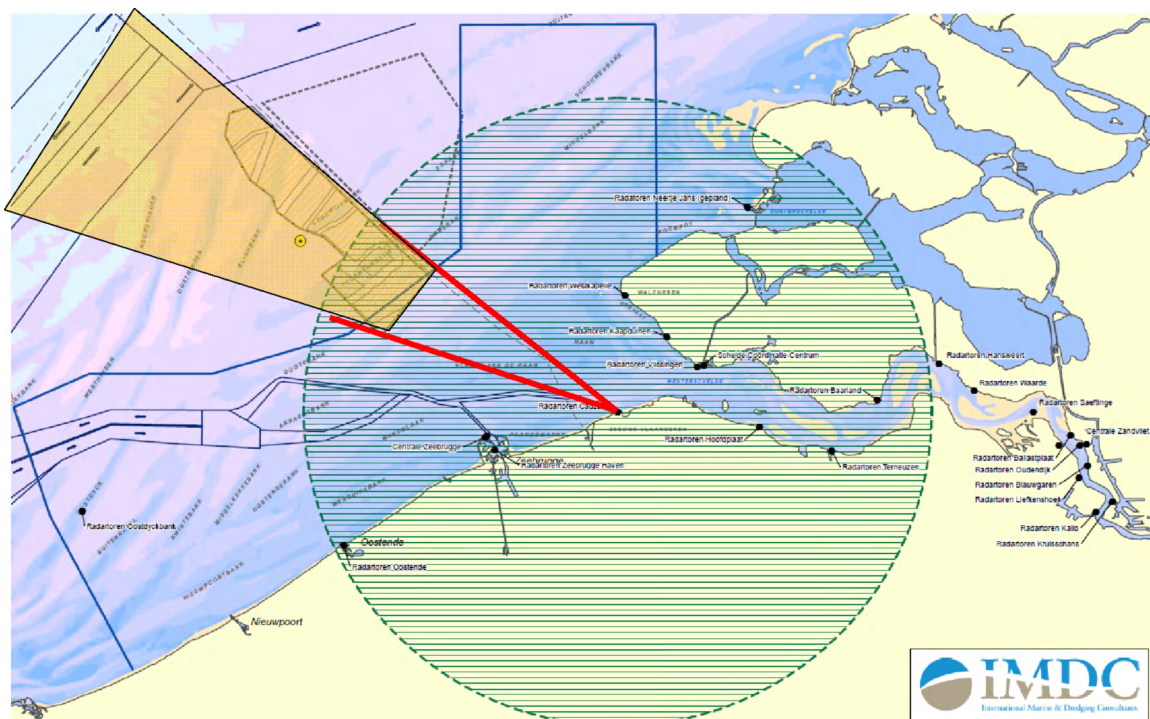
Hieruit blijkt duidelijk dat er in wezen enkel voor het radarstation van Oostende een directe impact is achter het transformatorstation BOG Alpha, en een beperkte impact voor het radarstation van Zeebrugge, omdat het transformatorstation BOG Alpha reeds gelegen is in de schaduwzone achter de windparken Norther en C-Power.



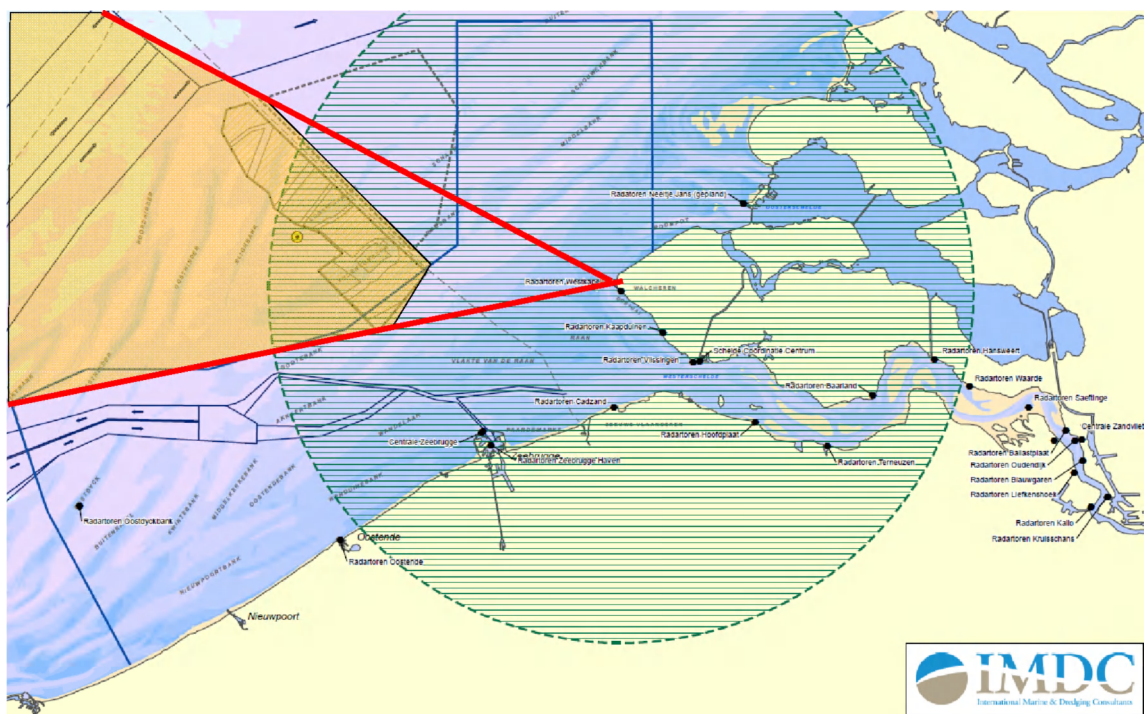
Figuur 37. Schaduweffecten voor de radar van Oostende (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied



Figuur 38. Schaduweffecten voor de radar van Zeebrugge (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied



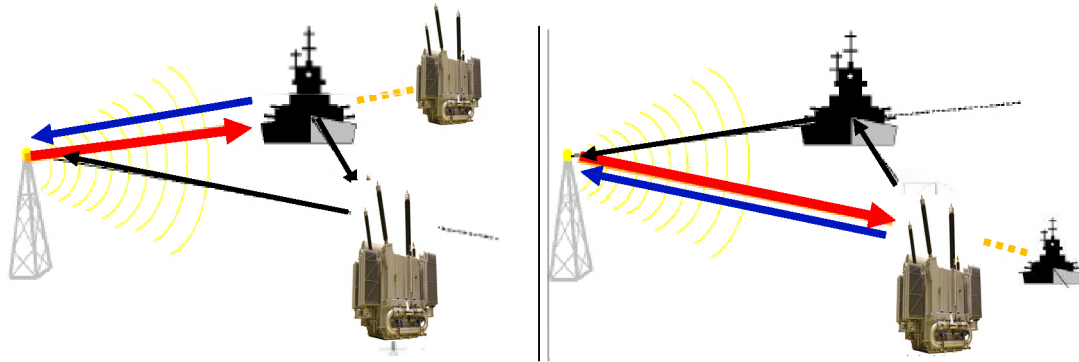
Figuur 39. Schaduweffecten voor de radar van Cadzand (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied



Figuur 40. Schaduweffecten voor de radar van Westkapelle (LoS zone 20 m hoogte) voor totaal concessiegebied

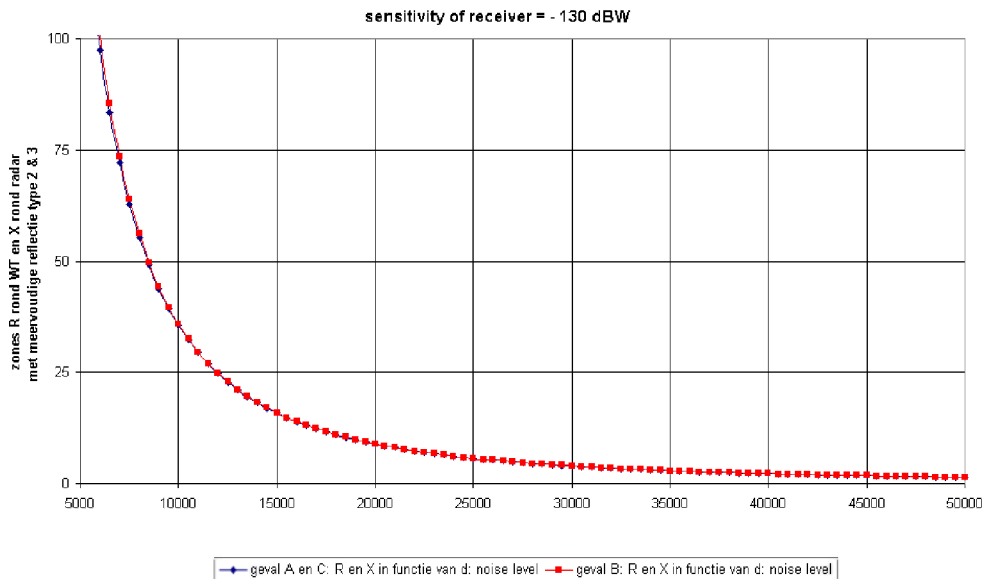
5.4. Meervoudige reflecties en valse echo's

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 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.

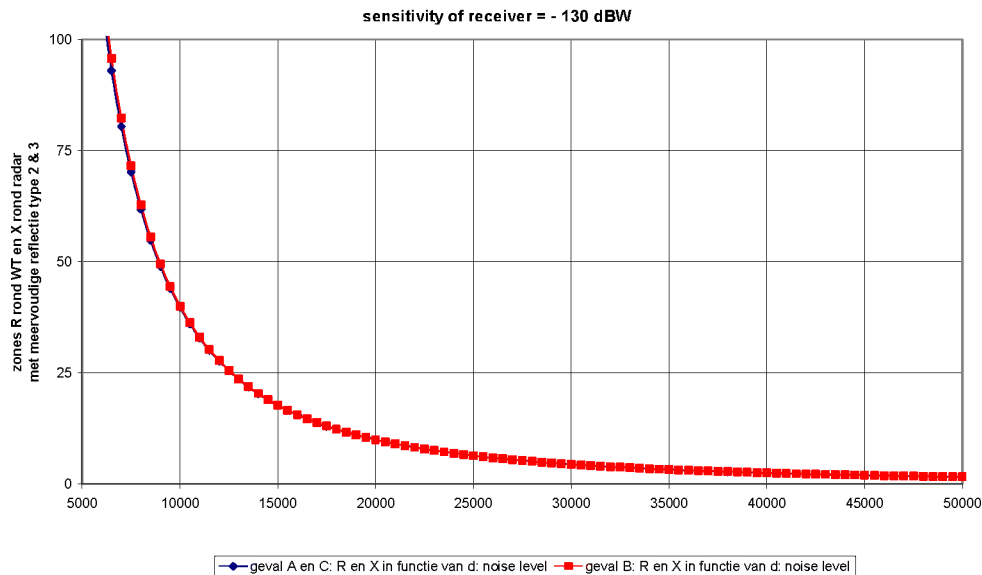


Figuur 41. Schematische voorstelling van meervoudige reflecties

De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een object en een schip, op een afstand van 5 km tot 40 km van de radarinstallaties, voor een tweetal combinaties van verschillende RCS waarden voor het object en het betreffende schip.



Figuur 42. Straal van zones rond grote objecten waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan, in functie van de afstand radar tot het obstakel, voor een schip RCS = 100 m² en een obstakel RCS = 1000 m²



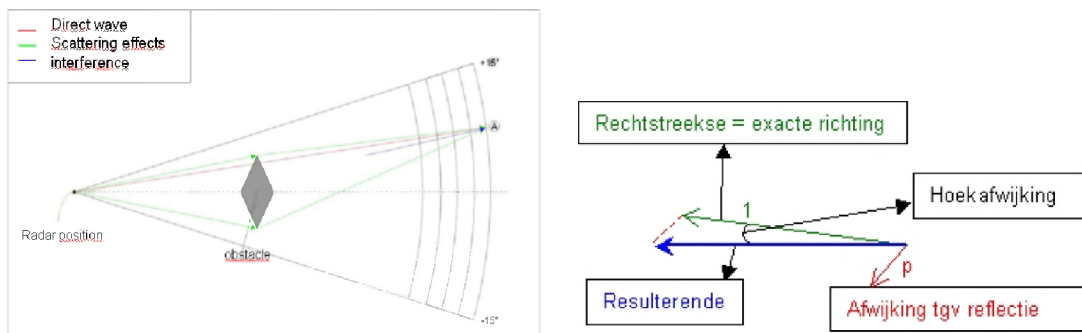
Figuur 43. Straal van zones rond grote objecten waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan, in functie van de afstand radar tot het obstakel, voor een schip RCS = 250 m² en een obstakel RCS = 1000 m²

Hieruit blijkt dat deze zones voor een groot object 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 het transformatorstation BOG Alpha op zee en de SRK radarinstallaties aan de wal onbestaande.

5.5. Hoekafwijking door multipath propagatie en diffractie

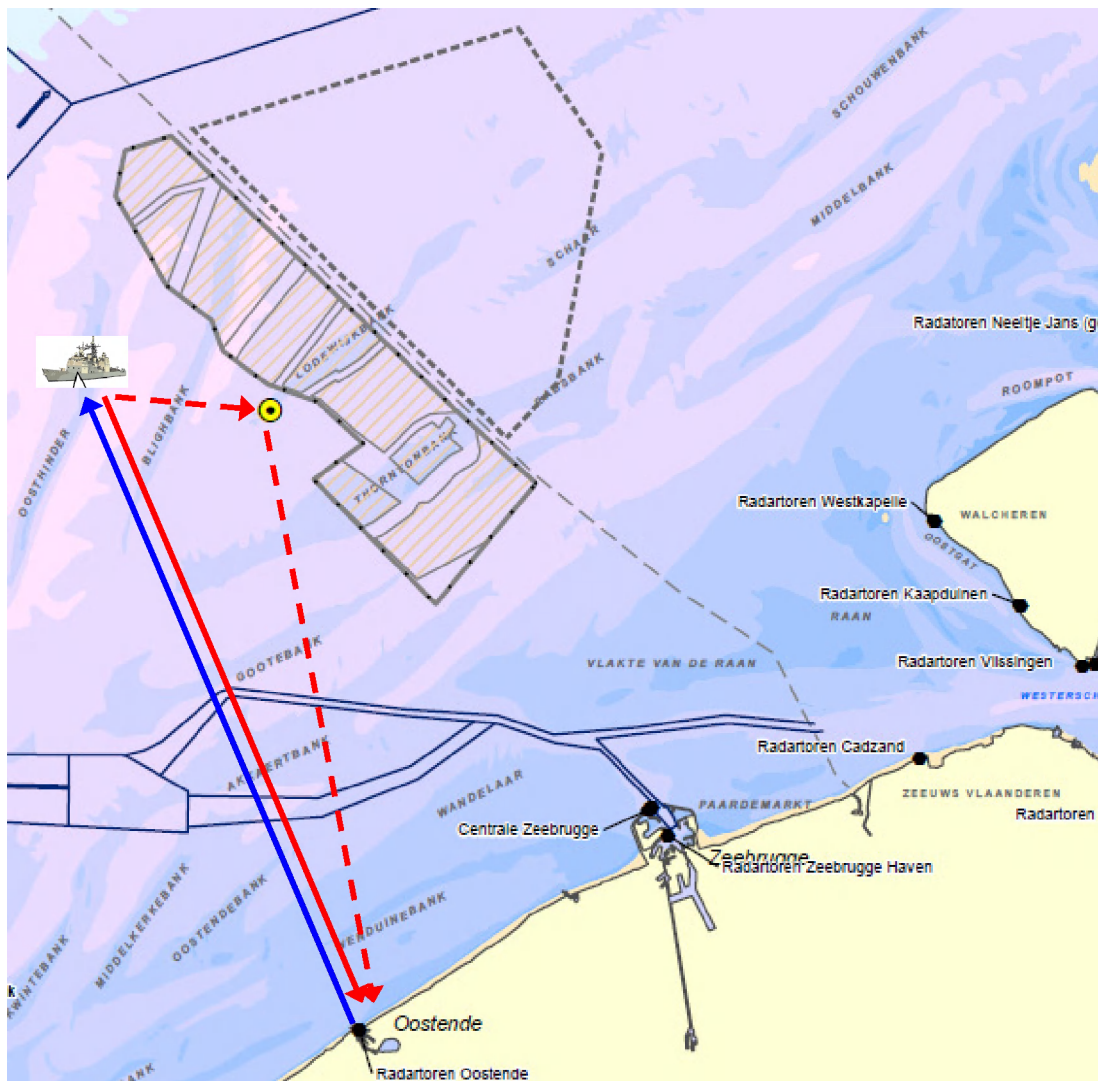
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Dit wordt schematisch aangegeven in figuur 44.



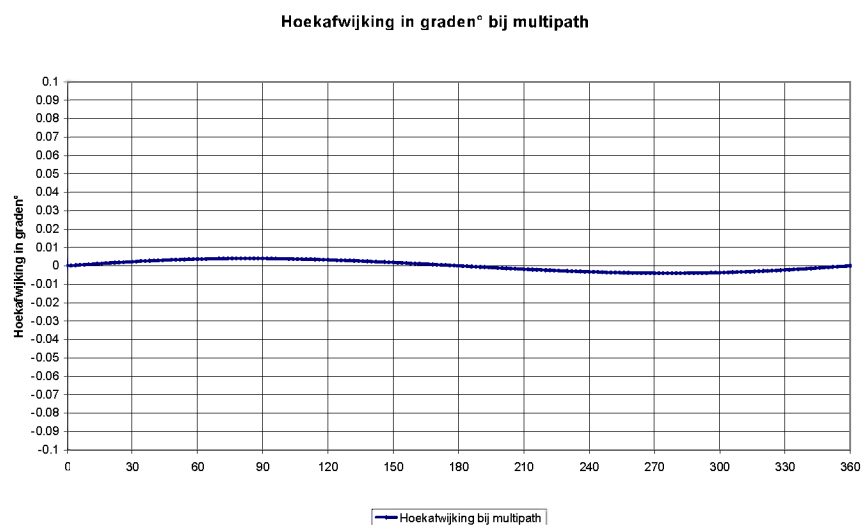
Figuur 44. Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effect door diffractie

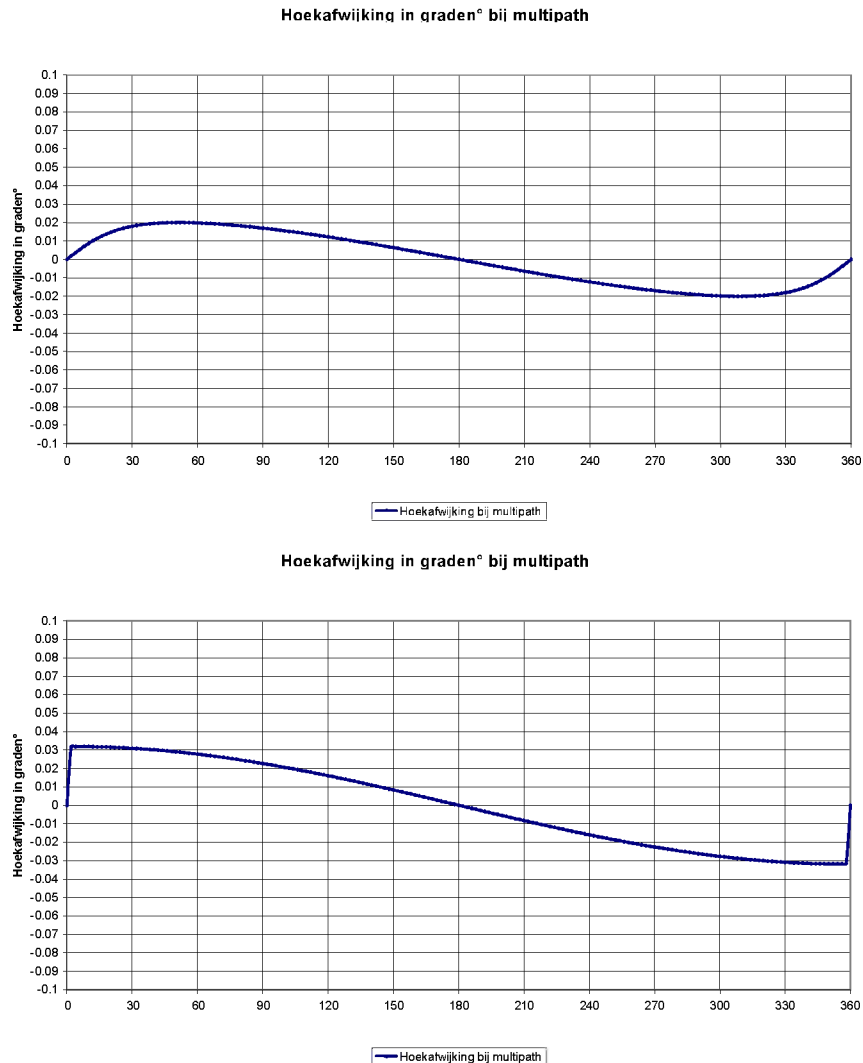
Uit voorgaande analyses is het duidelijk dat een fout op de waarneming van een object achter een windturbinepark niet dient in aanmerking genomen te worden, omdat deze radarsignalen reeds voldoende gedempt zijn (zie hoofdstuk 5.2. bovenstaand).

In de volgende grafieken (figuur 46) wordt de hoekafwijking gegeven ten gevolge van een mogelijke multipath propagatie door reflectie van een gediffracteerd radarbundel op een groot object voor verschillende combinaties van afstand tussen object en radar en voor verschillende liggingen van het schip. Dit mechanisme wordt in de onderstaande figuur 45 geschetst voor het transformatorstation BOG Alpha.



Figuur 45. Principeschets van multipath door reflectie op een groot object





Figuur 46. Hoekafwijking door multipath propagatie voor een obstakel op 40 km, en een object op 5 km (boven), 25 km (midden) en 40 km (onder) afstand van de radar

Uit de analyse volgt dat de hoekafwijking verwaarloosbaar is ($< 0.1^\circ$), zelfs bij grote RCS waarden van 500 m^2 voor het betreffende object dat 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 $\pm$ 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:

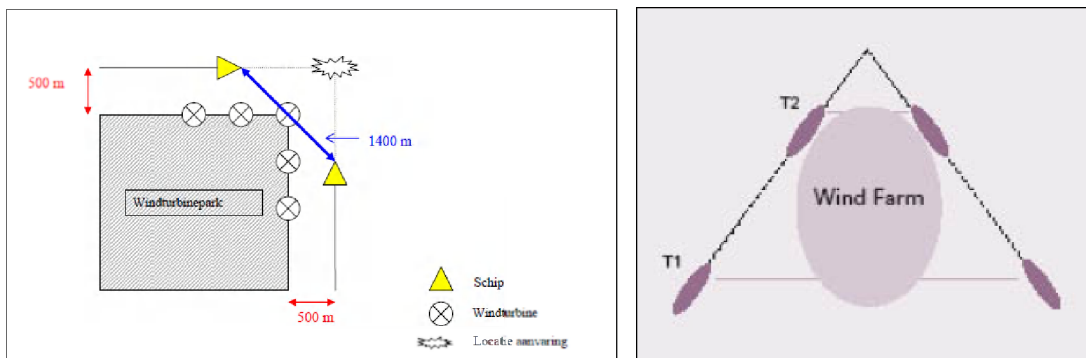
- horizontale polarisatie
- gain hoofdlobe: 30 dBi
- horizontale bundelbreedte: 2°
- verticale bundelbreedte: 25°
- zijlobe onderdrukking: 25 dB
- ruisniveau van de ontvanger: -119 dBW (-89 dBm)

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 47. 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 transformatorstation. Hierbij worden twee types scheepvaartverkeer verwacht: van en naar (onderhoudswerkzaamheden) het transformatorstation (met inbegrip van toegang tot de kade), en rondom het transformatorstation. Voor dit scheepvaartverkeer is het van belang dat schepen die zich naar de kade begeven of zich “achter” het transformatorstation bevinden goed en snel kunnen waargenomen worden.



Figuur 48 en 49. Voorbeelden van beperkte zichtbaarheid rond een obstakel (windpark als voorbeeld)

Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat bij de situaties zoals geschetst in figuur 48 er eerst en vooral nog dient rekening gehouden met de voorschriften omtrent veiligheidsafstanden van 500 m (zie KB 11/4/2012 – BS 1/6/2012). Dit is uiteraard niet het geval voor de scheepvaart die instaat voor het onderhoud van het transformatorstation, en aan de kade zal aanmeren.

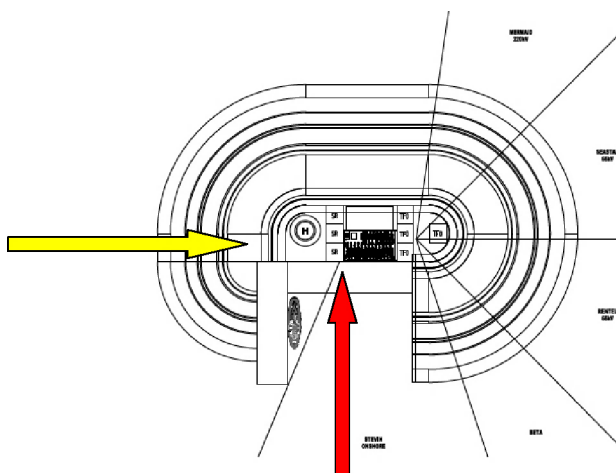
Uitgaande van de gegevens van een typische scheepsradar, met een horizontale bundelbreedte van 2° , kan de bundelbreedte van de scheepsradar in functie van de afstand berekend worden. Dit wordt in tabel 9 geresumeerd.

Afstand tot radar	Bundelbreedte
100 m	4 m
500 m	17 m
1000 m	35 m
2500 m	87 m
5000 m	175 m
10000 m	350 m

Tabel 9. Bundelbreedte van een typische scheepsradar in functie van de afstand tot het schip

Het geheel van hoofdgebouw en aanliggende voorzieningen van BOG Alpha dienen in dit verband gezien te worden als één geheel met $L \times B \times H = 55 \times 36 \times 20$ m.

Afhankelijk van de richting zal de bundel dus pas het geheel volledig bestralen bij een afstand van 1000 m (gele pijl op de volgende figuur 50 – B=36m) en 2000 m (rode pijl op de volgende figuur 50 – L=55m). Deze afstanden zijn aanzienlijk groter dan de veiligheidsafstand van 500m rond obstakels op zee, zodat de effecten van een niet-volledige bestraling van het object door de radarbundel in detail dienen geanalyseerd te worden.



Figuur 50. Richtingsafhankelijkheid voor de scheepsradar en bundelbreedte t.o.v. BOG Alpha

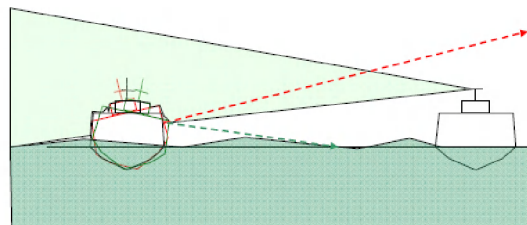
6.1. Controle van de zichtbaarheid van BOG Alpha

In eerste instantie dient nagegaan te worden in hoeverre het transformatorstation zichtbaar is, binnen de beperkingen van geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de scheepsradar. Specifiek voor BOG Alpha dient de hoogte van 20 m in aanmerking genomen te worden.

Antenne hoogte	Object hoogte in m			
	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

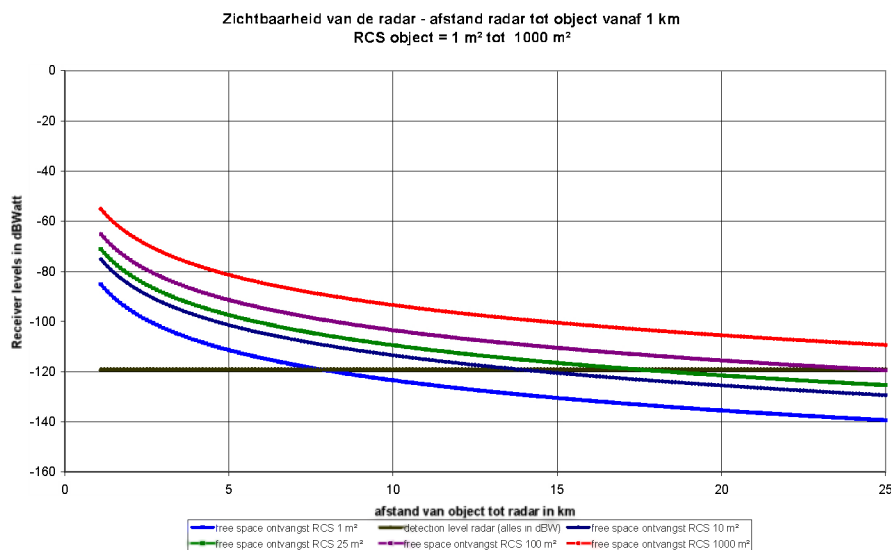
Tabel 10. LoS afstanden voor de scheepsradar

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 51. Ook de RCS kan daardoor wijzigen, maar dat zal minder effect ressorteren op het feitelijke bereik.



Figuur 51. Verandering in LoS bereik door het rollen van een schip

Het bereik van de scheepsradar met een antennehoogte van 5 m, in functie van de RCS van het waar te nemen object wordt gegeven in de reeks grafieken van figuur 52, en kan als volgt samengevat worden in tabel 11.



Figuur 52. Radarbereik voor een scheepsradar bij een eigen hoogte van 5m en verschillende object RCS

RCS	1 m ²	10 m ²	25 m ²	100 m ²	1000 m ²
Bereik	7 km	10 km	14 km	20 km	30 km

Tabel 11. Overzicht van het radarbereik van een scheepsradar in functie van RCS van een object

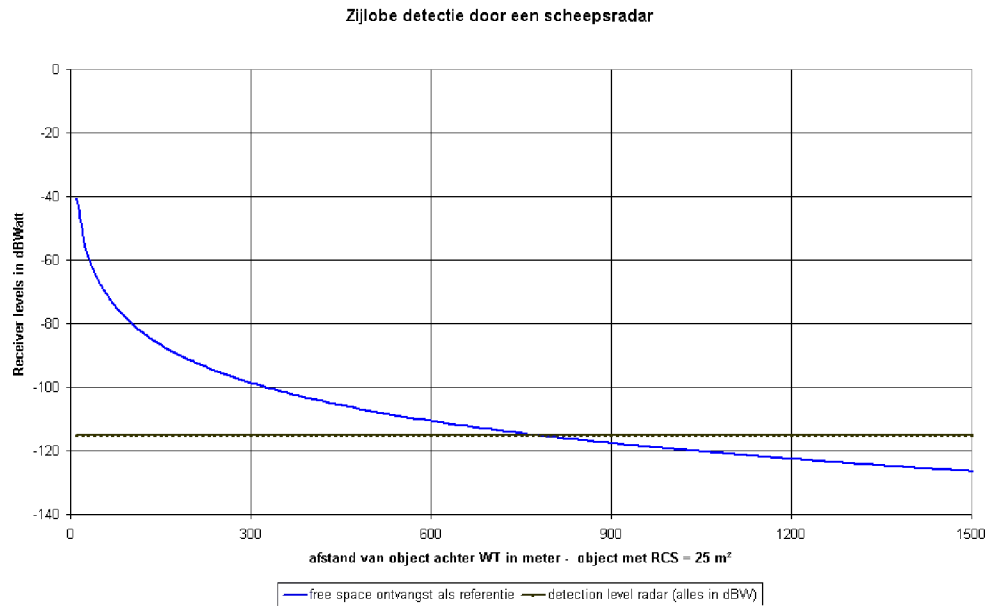
Uit de combinatie van LoS bereik en signaalsterkte kan besloten worden dat een feitelijk bereik van de scheepsradar zich situeert tussen 7 km (voor zeer kleine schepen) tot 20 km (voor grotere containerschepen). Een goed gemiddelde is daarbij een RCS van 25 m², wat een bereik inhoudt van 14 km (ongeveer 8 NM).

Het is bovendien duidelijk dat het BOG Alpha transformatorstation (RCS > 100 m²) van op relatief grote afstand zichtbaar is, 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 500 m, 1 km, 5 km en 10 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 het transformatorstation BOG Alpha op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de radar op voldoende korte afstand van het transformatorstation.



Figuur 53. 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 aan of dichtbij de aanmeerkade bevinden (o.a. voor onderhoudswerk) en schepen “achter” het transformatorstation (botsingsgevaar).

Zie ook figuur 48 voor een schets van mogelijke situaties.

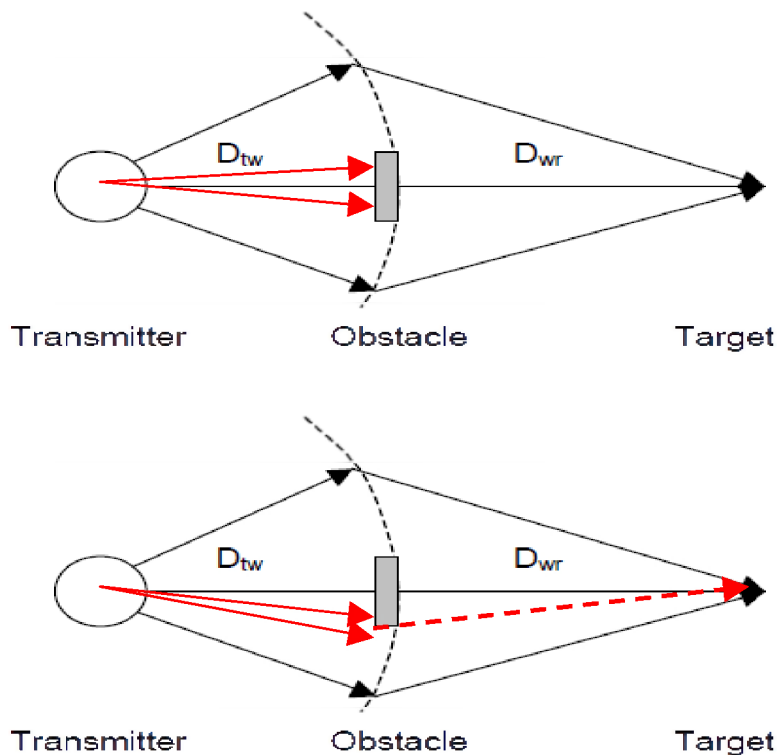
Verder dient in aanmerking genomen te worden dat voor kortere afstanden tussen scheepsradar en transformatorstation, dit laatste niet volledig door de radarbundel zal bestraald worden. Uitgaande van het huidige concept van BOG Alpha, is deze afstand D_{rv} 1000 m tot 2000 m, afhankelijk van de richting (zie figuur 50).

Het verschil tussen de toestand voor een schip binnen de afstand D_{rv} en op een grotere afstand is dat voor een schip binnen de afstand D_{rv} er een volledige dode zone ontstaat achter het transformatorstation, zolang de radarbundel niet over de rand van de constructie reikt.

Van zodra de bundel over de rand van het object reikt, zal een radarwaarneming mogelijk worden, met in achtneming van de Fresnel knife edge attenuatie.

Alhoewel de verticale bundelbreedte van een scheepsradar typisch 25° is en dus zelfs op korte afstand de volledige hoogte van het transformatorstation BOG Alpha overschrijdt, kan deze niet zonder meer toegepast worden door het mogelijke rollen en stampen van een schip (zie figuur 51). In een worst case scenario kan dus alleen de horizontale bundelbreedte met zekerheid meegenomen worden.

In figuur 54 wordt schematisch het verschil tussen een volledige en een gedeeltelijke (rode pijlen) bestraling door een radarbundel weergegeven. Het geval waarbij de bundel volledig op het object valt en bij verdere rotatie toch over de rand van het object straalt wordt daarbij schematisch weergegeven.



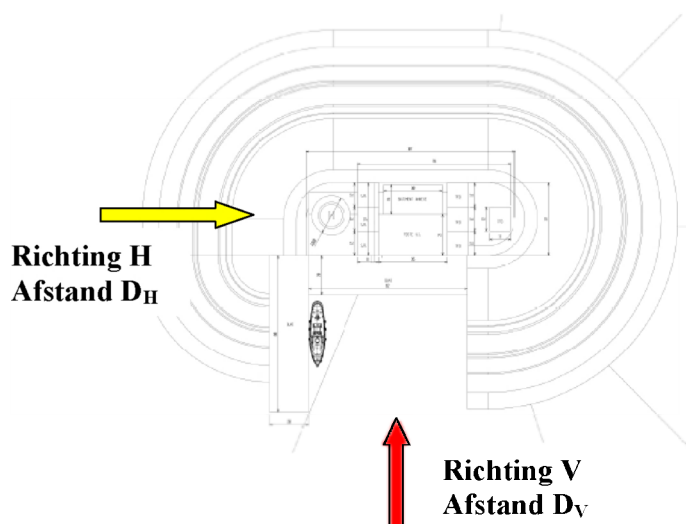
Figuur 54. Schematische voorstelling van de invallende radarbundel van een scheepsradar, met een bundel (rode bundel) die het object niet volledig bestraald (boven) , en waarbij dezelfde radarbundel bij rotatie toch over de rand van het object straalt (onder)

In de volgende grafieken wordt de reductie van de radarzichtbaarheid gegeven voor een aantal combinaties van afstanden tussen schepen en het transformatorstation, en van de RCS van de schepen, en dit voor de twee hoofdrichtingen tegenover het transformatorstation. Voor de achterliggende schepen worden 3 gevallen meegenomen, met een RCS waarde van 1 m^2 (kleine visserssloop), 25 m^2 en 100 m^2 (middelgroot en groter schip).

Er wordt vanuit gegaan dat er zich onder normale omstandigheden geen grotere schepen rond het transformatorstation zullen bevinden, tenzij tijdens de opbouw ervan en tijdens uitzonderlijke onderhoudswerken. In elk geval blijven deze grotere schepen beter detecteerbaar dan de kleinere, zodat de volgende combinaties een normale tot worst case situatie uitmaken (zie tabel 12).

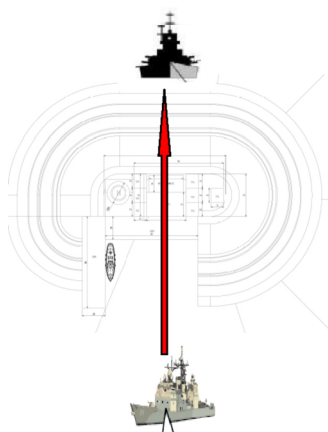
D_H	RCS (m^2)			D_V	RCS (m^2)		
	1 m^2	25 m^2	100 m^2		1 m^2	25 m^2	100 m^2
100 m	-	-	-	100 m	X	X	X
500 m	X	X	X	500 m	X	X	X
1 km	X	X	X	1 km	X	X	X
5 km	X	X	X	5 km	X	X	X
10 km	X	X	X	10 km	X	X	X

Tabel 12. Combinaties van afstanden D_H en D_V en verschillende RCS object waarden

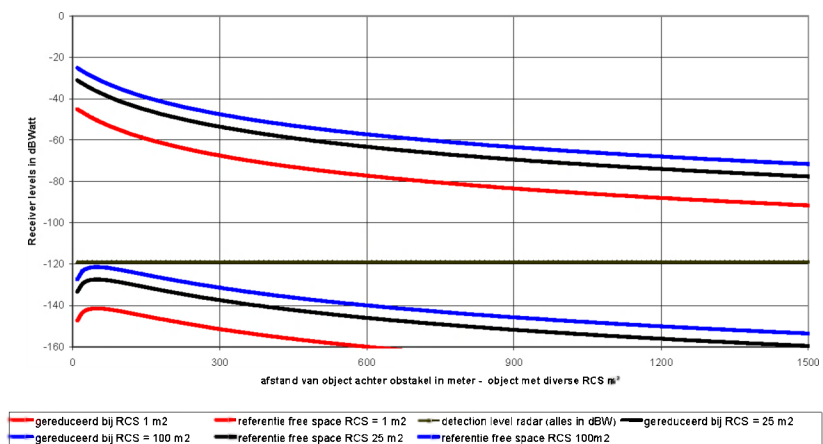


Figuur 55. Hoofdrichtingen t.o.v. het transformatorstation BOG Alpha

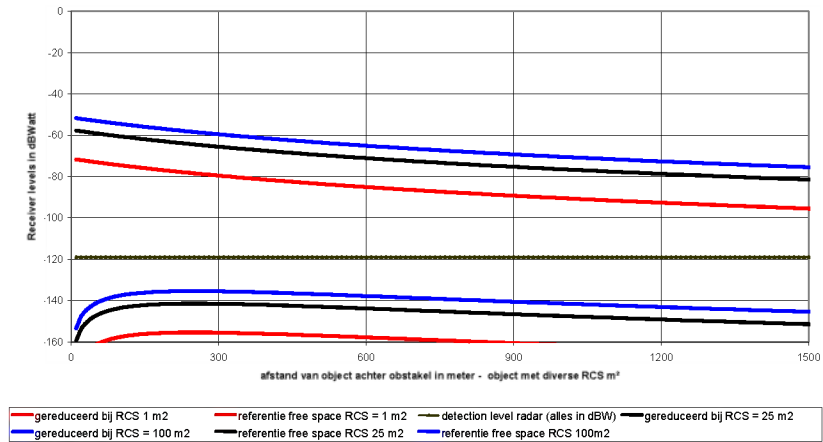
De volgende grafieken geven de ontvangen signaalsterkte voor de verschillende condities uit tabel 12 wanneer zowel de scheepsradar als het tweede schip (object) achter het transformatorstation BOG Alpha zich in het midden van het hoofdgebouw bevinden. Dit is meteen een worst case situatie.



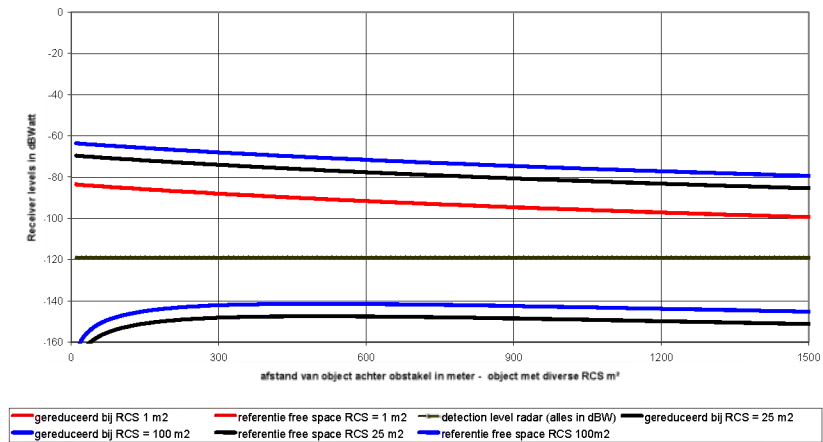
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op obstakel - afstand radar D_v tot obstakel is 100 m
totale breedte obstakel = 55 m (horizontaal vlak)



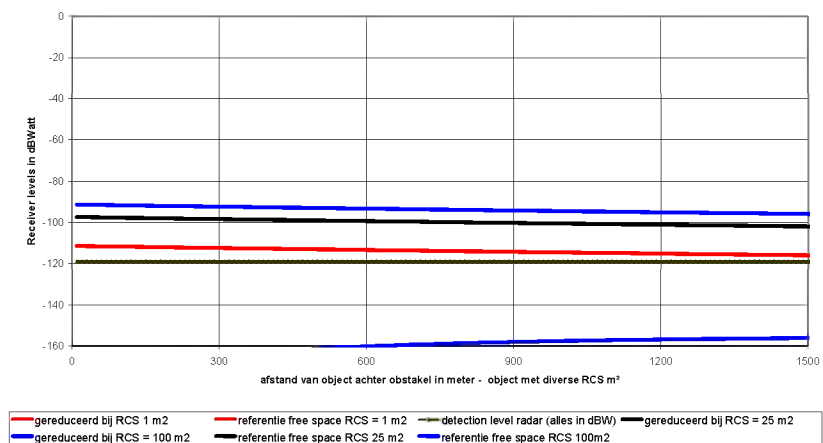
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op obstakel - afstand radar Dv tot obstakel is 500 m
totale breedte obstakel = 55 m (horizontaal vlak)

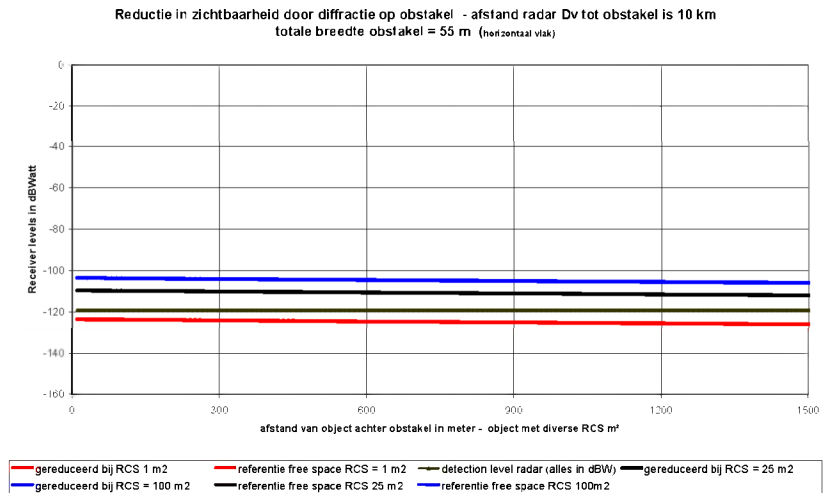


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op obstakel - afstand radar Dv tot obstakel is 1 km
totale breedte obstakel = 55 m (horizontaal vlak)



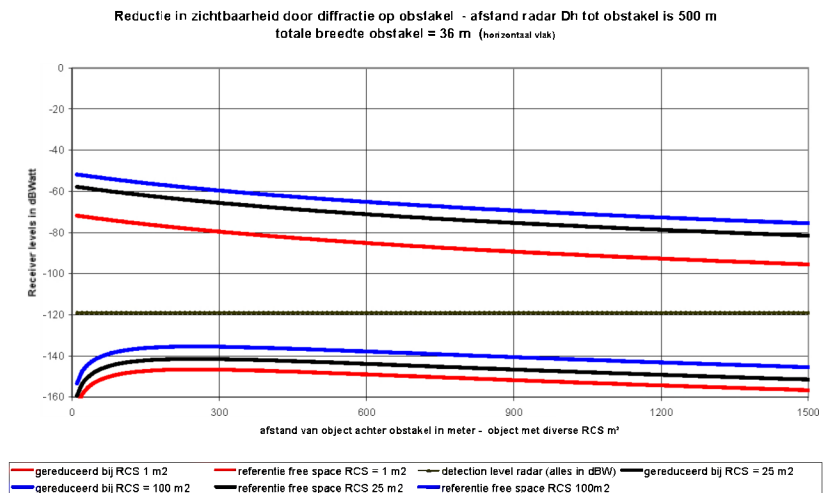
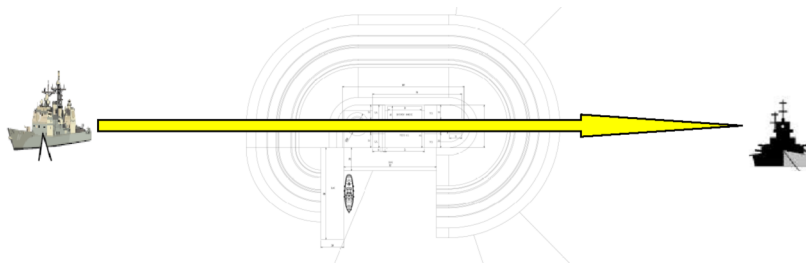
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op obstakel - afstand radar Dv tot obstakel is 5 km
totale breedte obstakel = 55 m (horizontaal vlak)

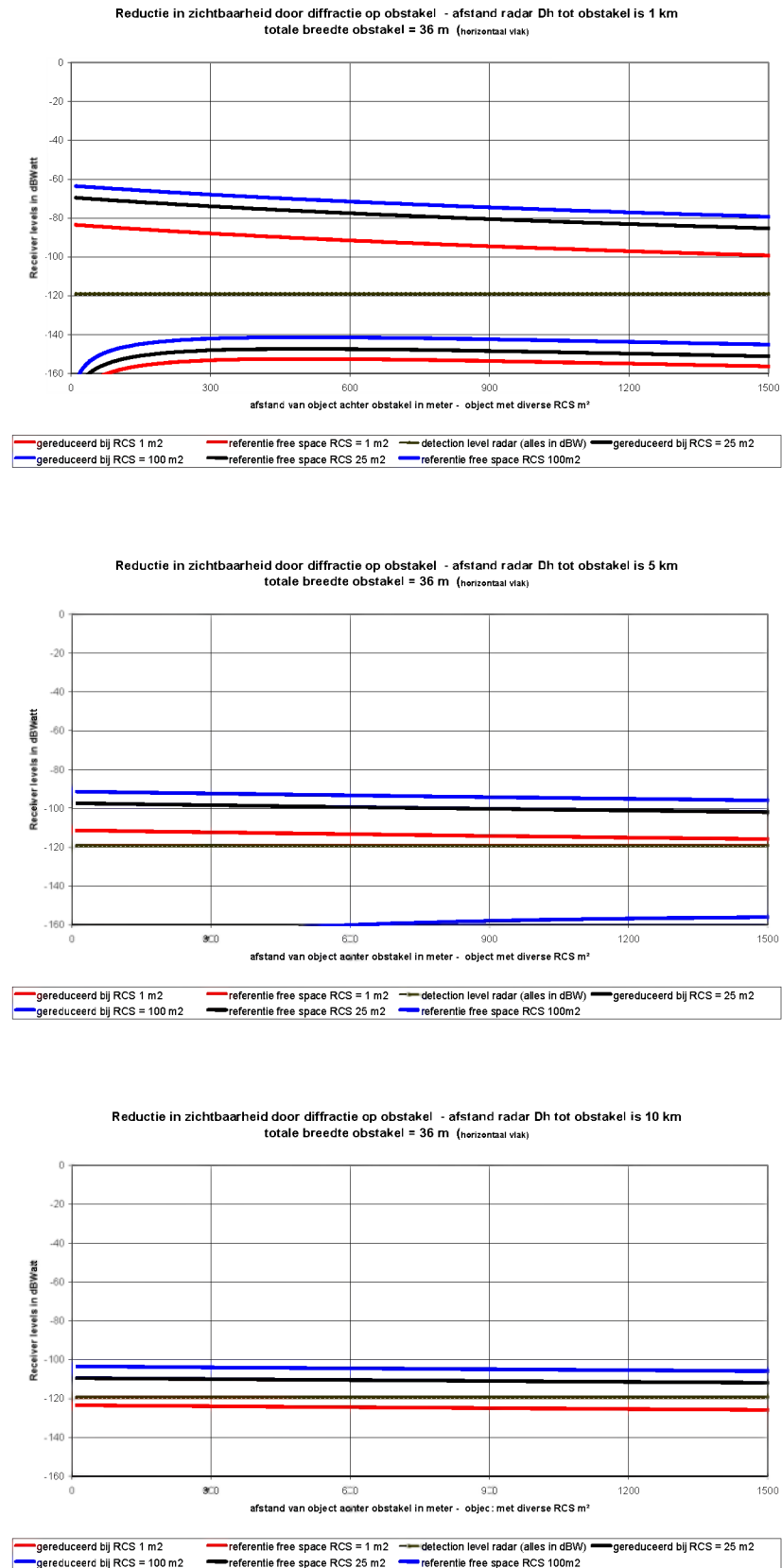




Figuur 56. Reductie van de radarzichtbaarheid voor de richting V, centrale ligging

Uit bovenstaande grafieken blijkt duidelijk dat in de richting V er voor zowel kortere als grotere afstanden van de scheepsradar en het object, er een volledig radarblinde zone zal ontstaan bij een centrale ligging van beide schepen t.o.v. het transformatorstation. Eenzelfde besluit kan gevormd worden voor de andere richting H, onder dezelfde condities, zoals blijkt uit figuur 57.



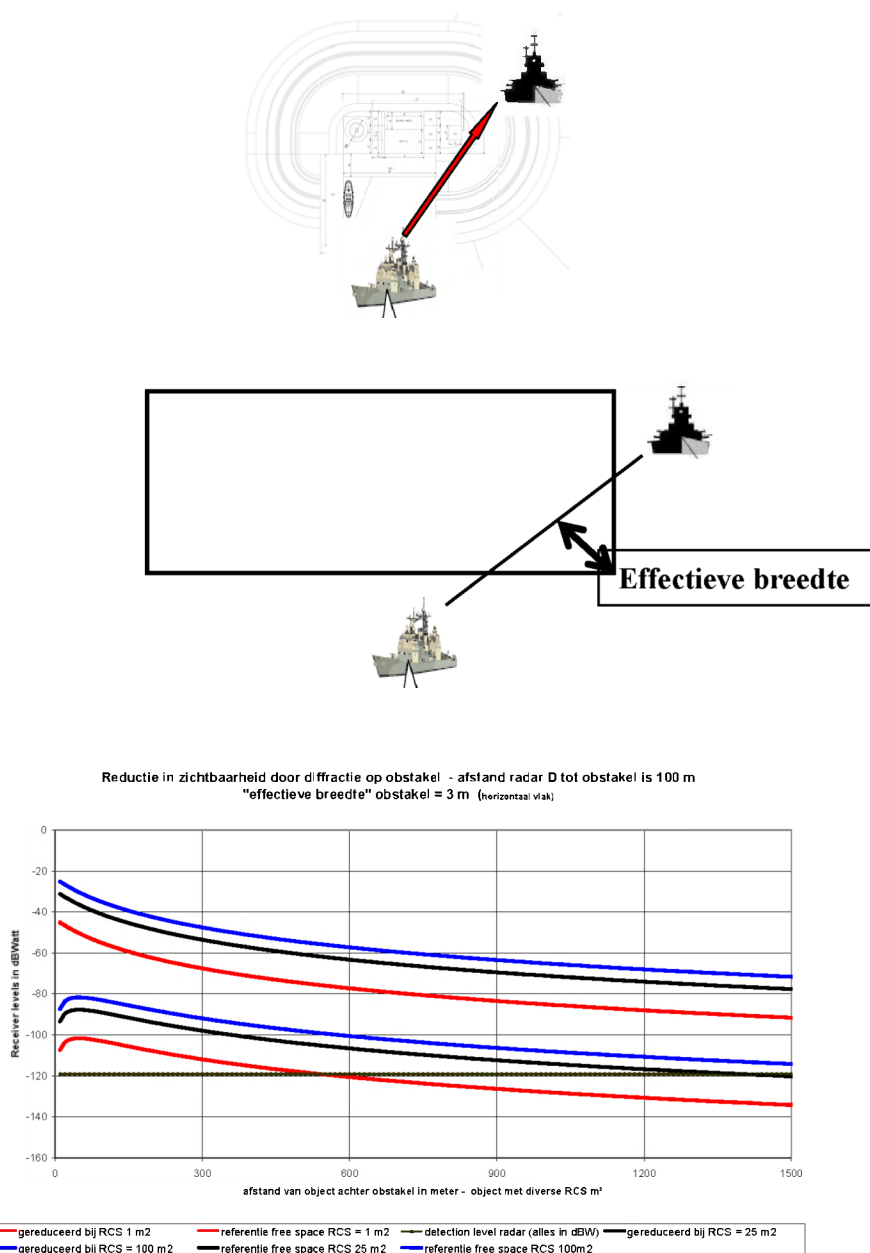


Figuur 57. Reductie van de radarzichtbaarheid voor de richting H, centrale ligging

Een minder strenge situatie ontstaat wanneer de scheepsradar en het tweede schip zich aan de rand van het transformatorstation bevinden en/of “om de hoek”. Een voorbeeld hiervan is geschetst in de volgende figuur 58 met de resulterende grafieken voor een situatie waarbij er een effectieve breedte (zie figuur 18 – ‘hoogte’ H) van slechts 3 m dient in acht genomen in het Fresnel/Bullington model.

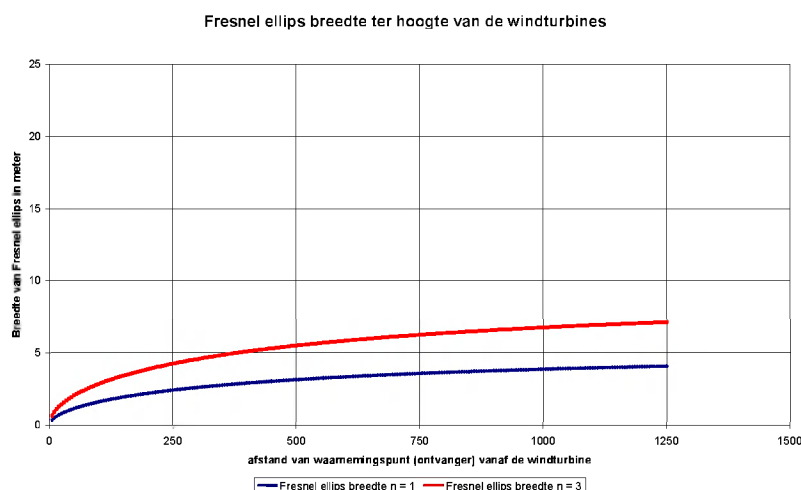
Deze situatie is zeker van belang bij het binnenvaren of uitvaren van de aanlegplaats bij het transformatorstation, zodat schepen die zich in de directe nabijheid “om de hoek” bevinden al dan niet zichtbaar blijven.

Uit de onderstaande analyse blijkt dat – met uitzondering van zeer kleine schepen op iets grotere afstand – een zekere radarzichtbaarheid behouden blijft, weliswaar met een sterk gereduceerde signaalsterkte voor de radarontvanger.

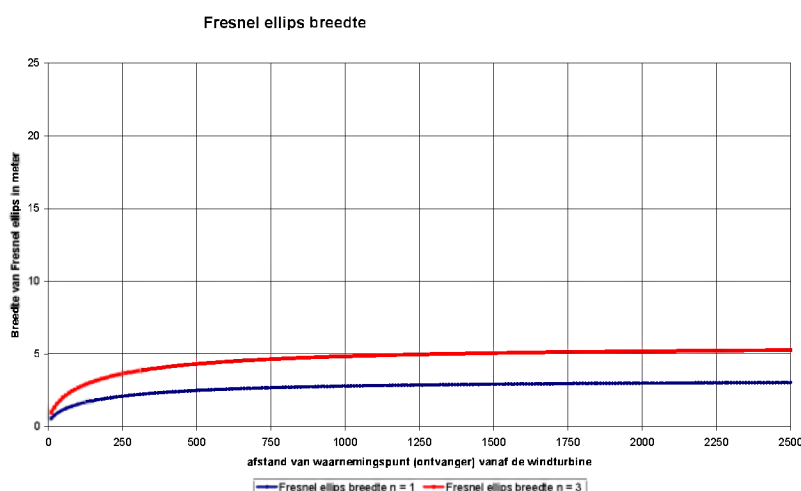


6.4. Vrije Fresnel doorgang doorheen losstaande obstakels

Uit gelijkaardige studies omtrent windturbineparken blijkt dat een afstand van 5 à 10 m tussen twee obstakels voldoende is om aan de Fresnel voorwaarden $n=1$ voor vrije radiopropagatie te voldoen. Deze Fresnel voorwaarden worden in de volgende figuren weergegeven voor verschillende situaties en condities.



Figuur 59. Fresnel ellips voorwaarden voor een schip (Tx) op 1 km afstand, in functie van Rx afstand

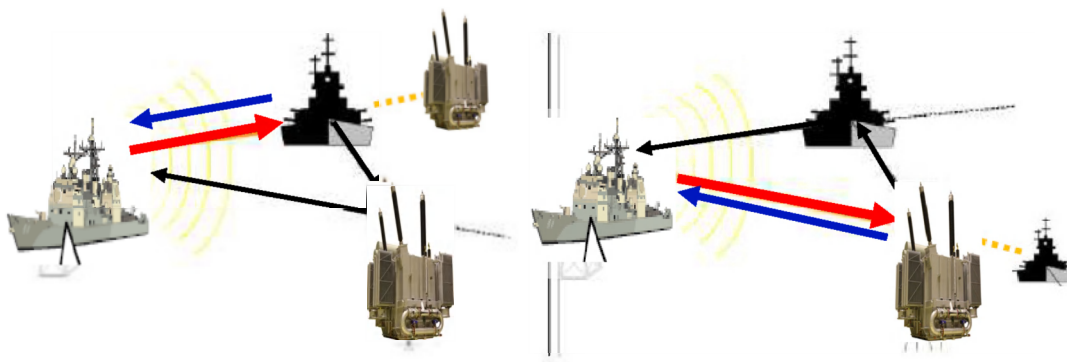


Figuur 60. Fresnel ellips voorwaarden voor een schip (Tx) op 350 m afstand, in functie van Rx afstand

Alhoewel deze voorwaarden minimaal zijn (enkele meter), worden deze niet vervuld in het voorliggende concept van het transformatorstation BOG Alpha, door de aaneenschakeling van de gebouwen. De conclusie omtrent dode zones en sterk gereduceerde radarzichtbaarheid van §6.3. blijft dus zonder meer volledig gelden.

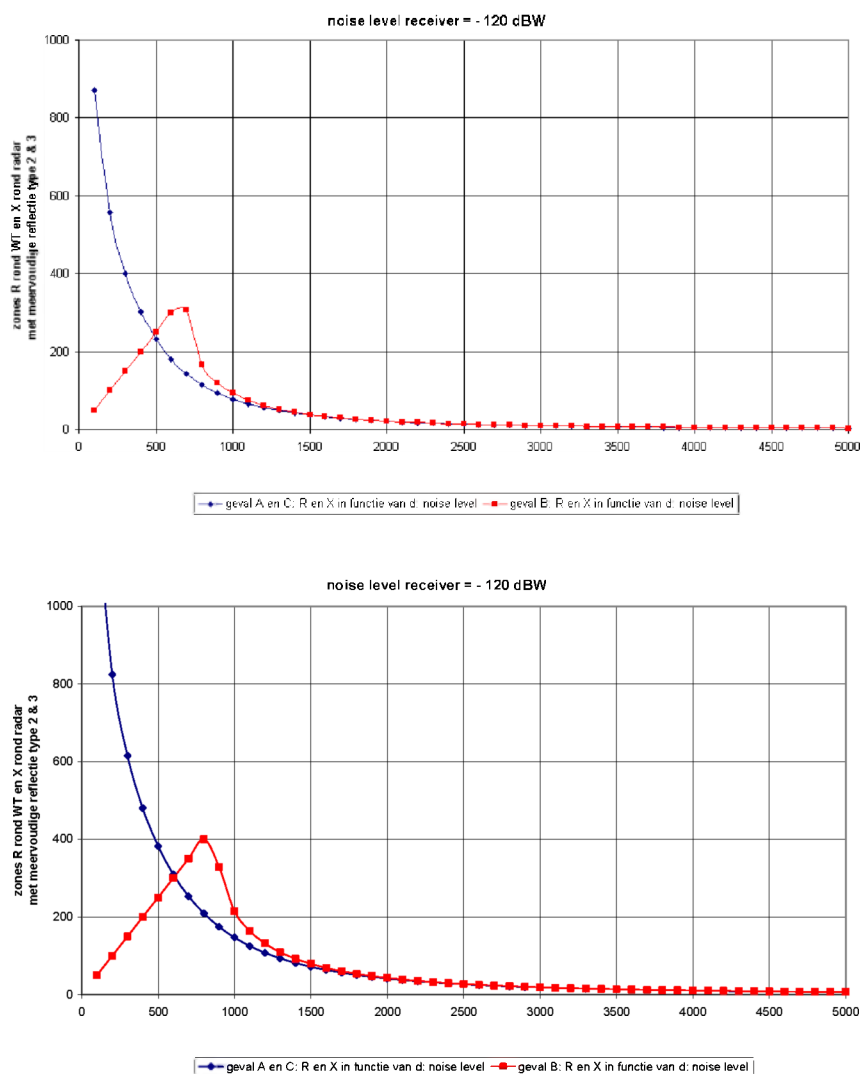
6.5. Meervoudige reflecties en valse echo's

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 61.



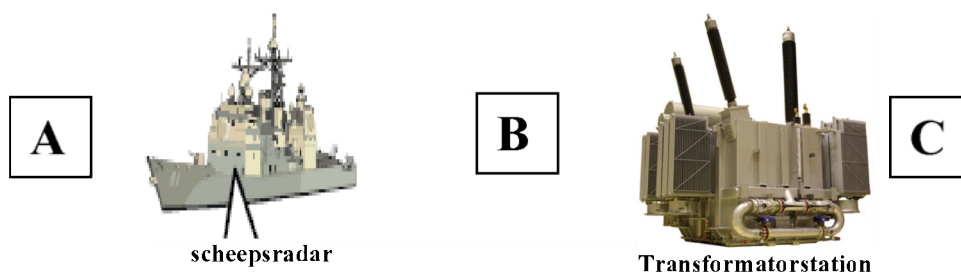
Figuur 61. Schematische weergave van meervoudige reflecties en valse echo's

De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een obstakel 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 het transformatorstation en het betreffende (tweede) schip of object (RCS 25 m² en 100 m²).



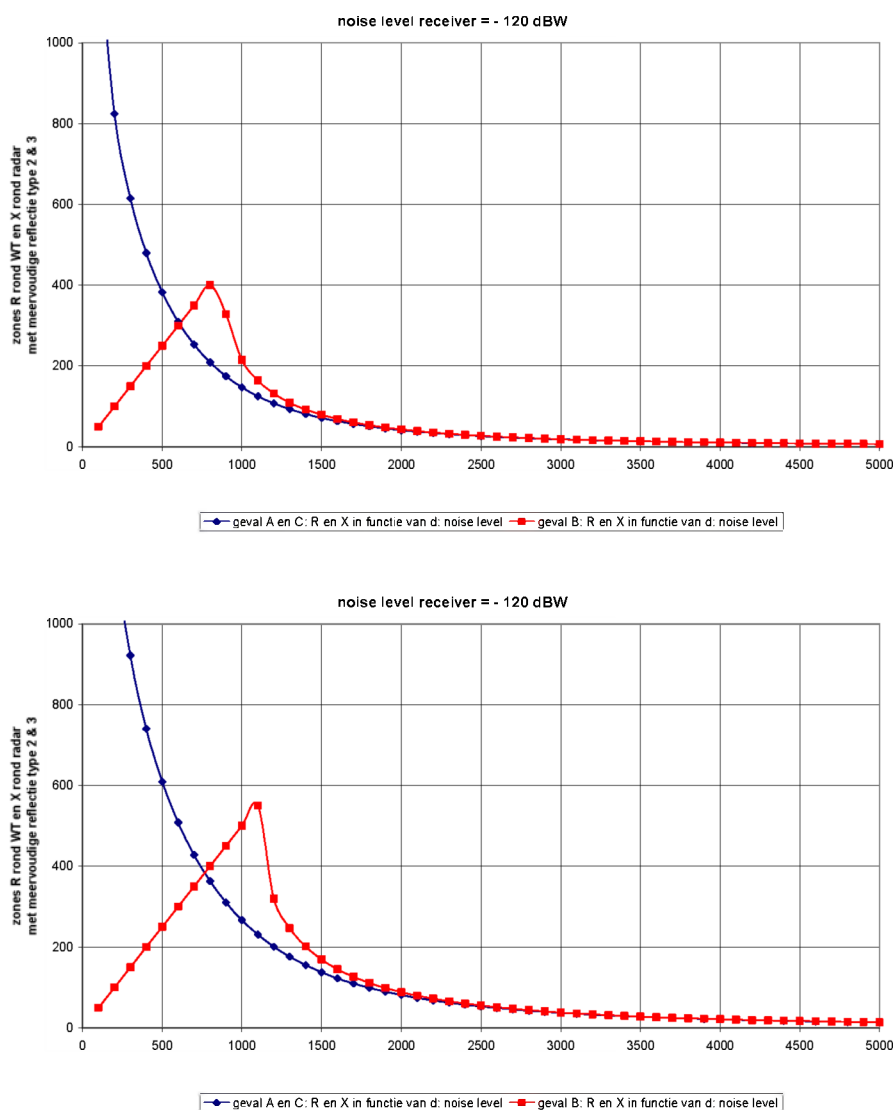
Figuur 62. Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 25 m² en twee verschillende RCS waarden bij het transformatorstation: RCS = 250 m² (boven) en RCS = 1000 m² (onder)

De bovenstaande figuren geven een zone met straal R aan rond het betreffende transformatorstation, en een straal X rond de betreffende radarantenne (zie figuur 66), voor de gevallen A, B en C. Deze drie situaties worden in figuur 63 schematisch weergegeven.



Figuur 63. Schematische voorstelling van de positie van een derde object dat aanleiding kan geven tot meervoudige reflecties (zie figuur 63) 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.



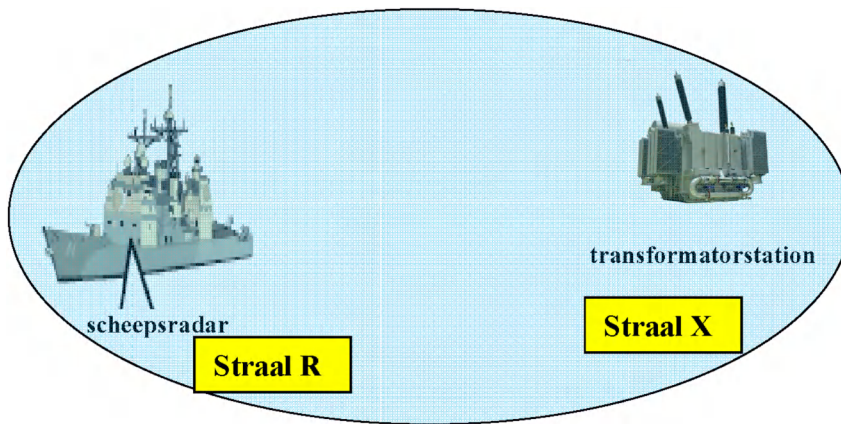
Figuur 64. Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 100 m² en twee verschillende RCS waarden bij het transformatorstation: RCS = 250 m² (boven) en RCS = 1000 m² (onder)

Uit bovenstaande analyses volgt dat er gemiddeld slechts meervoudige reflecties zullen optreden indien het waarnemingsschip zich binnen een afstand tot 1500 m van het transformatorstation bevindt, en een tweede object in de directe omgeving ervan.

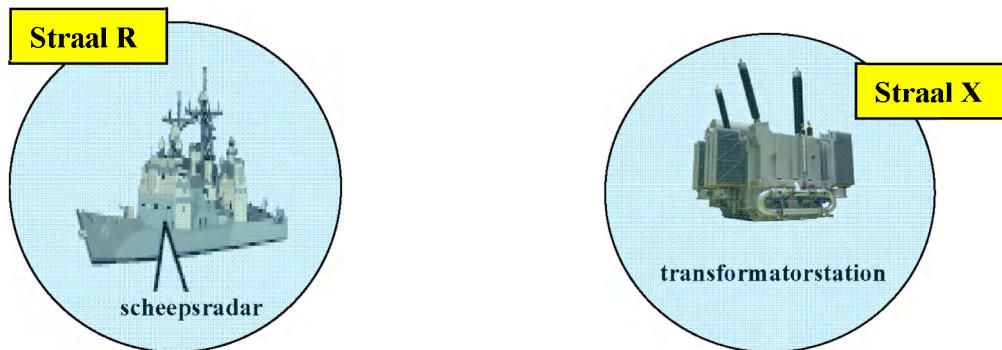
Er kunnen zich nu twee verschillende situaties voordoen:

- bij een kortere afstand tussen scheepsradar en transformatorstation, zullen de Verschillende zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden één groter aaneengesloten gebied vormen.
- bij een grotere afstand tussen scheepsradar en transformatorstation, zullen de zones rond het schip en rond het transformatorstation telkens een afzonderlijk (en zelfs kleiner) gebied vormen.

De twee gevallen worden schematisch weergegeven in de volgende figuren 65 en 66.



Figuur 65. Situatie waarbij alle zones een aaneengesloten gebied vormen



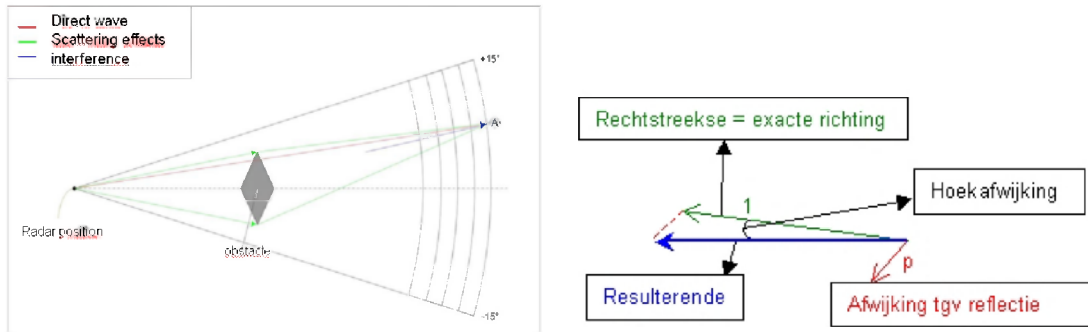
Figuur 66. Situatie waarbij alle zones afzonderlijke gebieden vormen

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 transformatorstation, 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. Hoekafwijking door multipath propagatie en diffractie

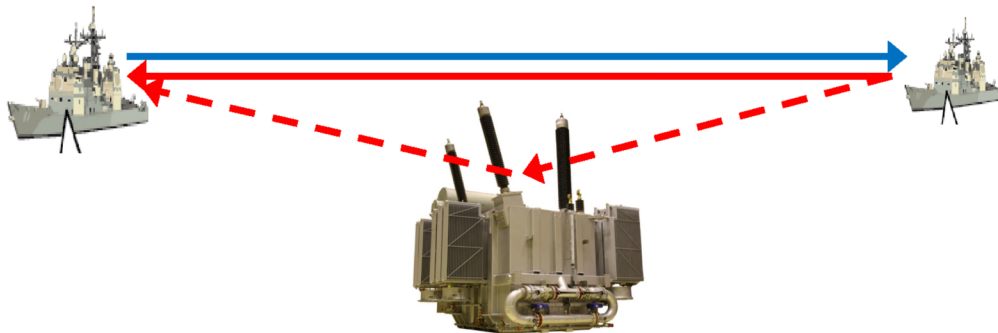
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Bij diffractie ontstaan twee signaalwegen, die zich weer kunnen samenstellen tot één resulterend signaal. Deze resultante zal echter een andere richting en een andere looptijd (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 67.



Figuur 67. Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effect door diffractie

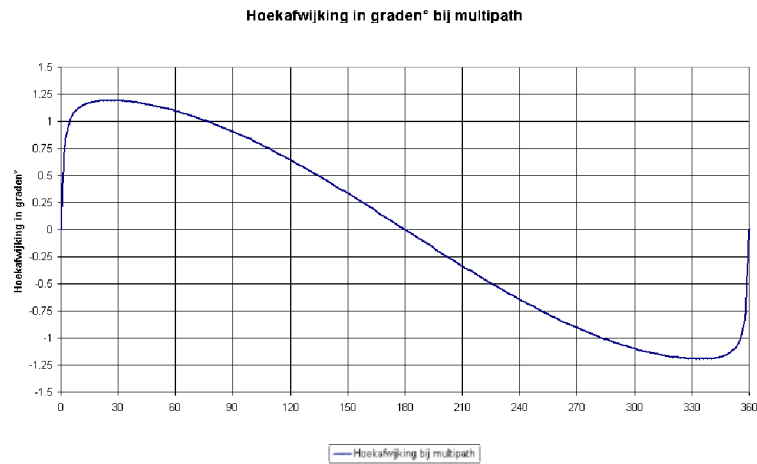
Een tweede vorm van multipath propagatie komt voor door reflectie van een gediffracteerd radarbundel op een groot object voor verschillende combinaties van afstanden tussen het transformatorstation en verschillende liggingen van de respectievelijke schepen. Dit mechanisme wordt in de onderstaande figuur 68 geschetst.



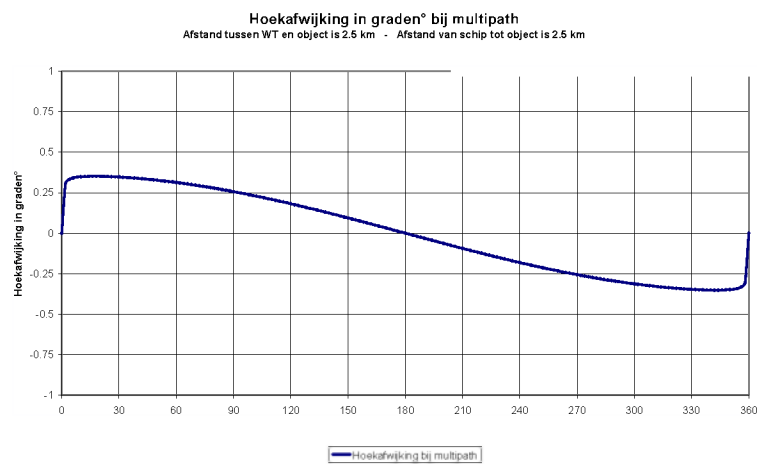
Figuur 68. Multipath propagatie schip/schip door reflectie op een tweede object

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 de figuren 69 en 70.

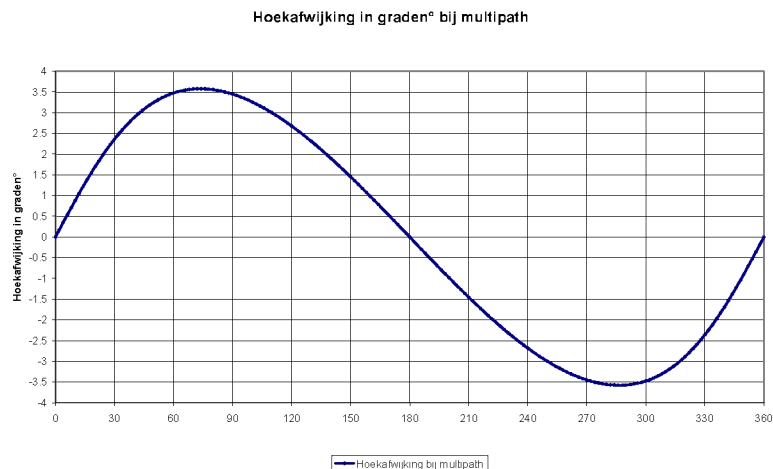


Figuur 69. Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 1 km

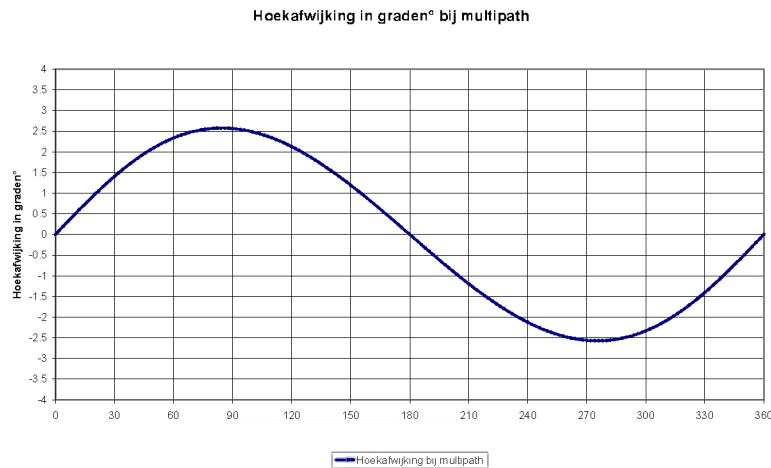


Figuur 70. Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 2.5 km

In de volgende grafieken wordt de hoekafwijking gegeven voor waarnemingsschepen die zich op respectievelijk 1 km en 2.5 km van een voldoende groot object bevinden, en een schip dat zich slechts op een afstand van 350 m van een dergelijk object bevindt. Dit is dus het geval voor schepen die zich in de onmiddellijke omgeving van het transformatorstation bevinden, en specifiek op weg zijn of aanmeren aan de aanlegkade. In dergelijke gevallen wordt de hoekafwijking dus veel groter en kan gemakkelijk oplopen tot enkele graden.



Figuur 71. Hoekafwijking door multipath propagatie bij een afstand van 350 m voor de scheepsradar op 1 km

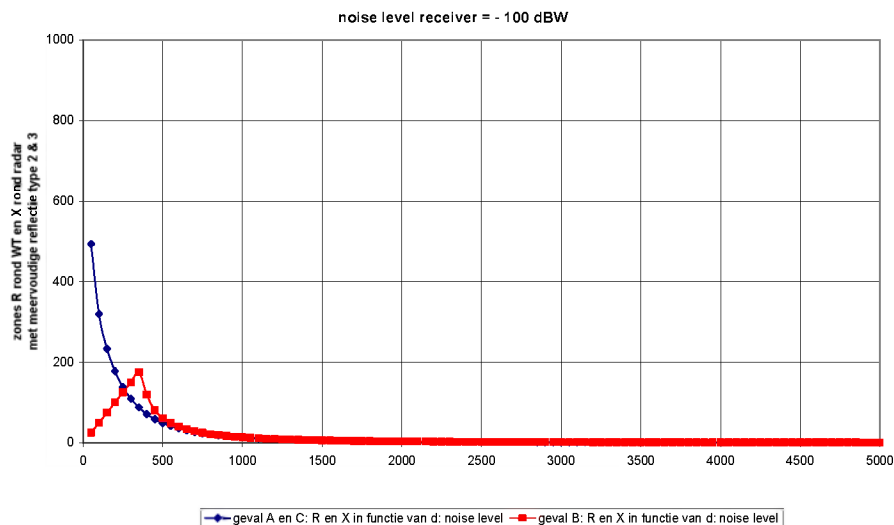


Figuur 72. Hoekafwijking door multipath propagatie bij een afstand van 350 m voor de scheepsradar op 2.5 km

6.7. 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 ruime 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 73. Voorbeeld van de vermindering van de zone voor valse echo's door vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger van de scheepsradar – vgl. met figuur 62:
RCS schip = 25 m² en RCS transformatorstation = 1000 m²

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:

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

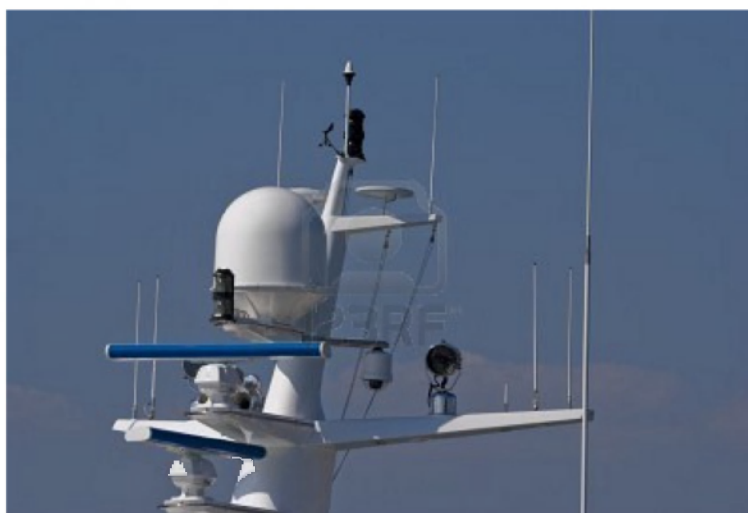
Tabel 13. Typische gegevens van de VHF radiosystemen

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 de tabel 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.



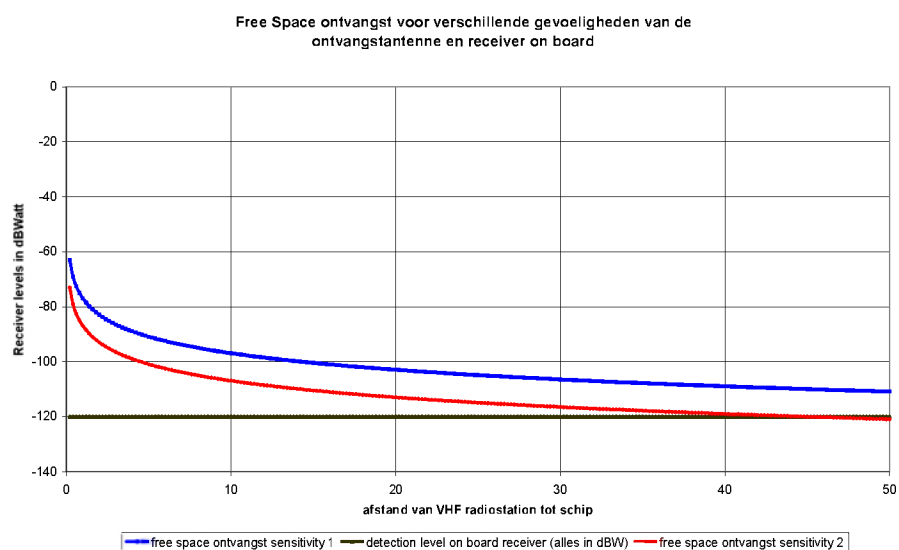
Figuur 74. Typische scheepsmast met radarantennes en communicatieantennes

Rekening houdend met de hoogte van de zendantennes aan wal, kan de volgende LoS reikwijdte ingeschat worden (van wal naar schip):

	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

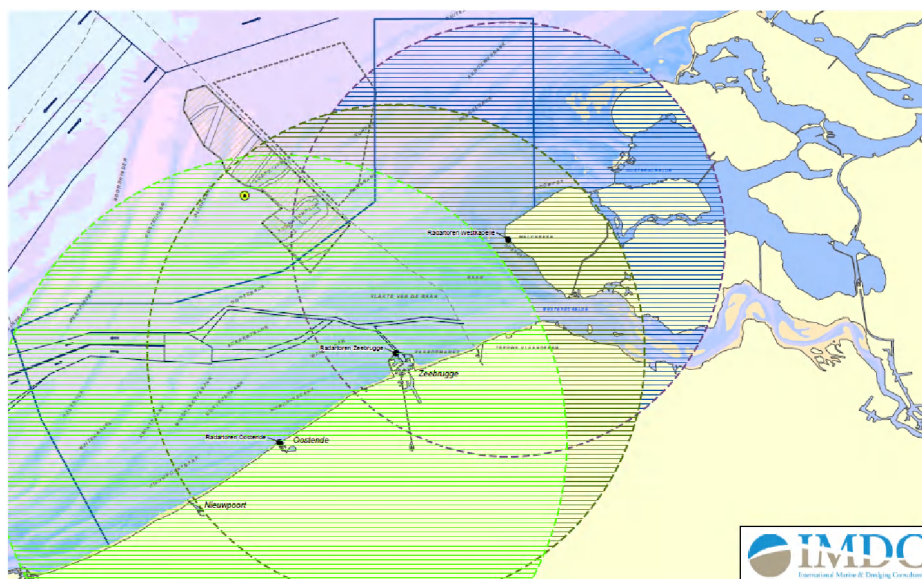
Tabel 14. LoS reikwijdte voor VHF communicatie in functie van antennehoogte aan boord

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.

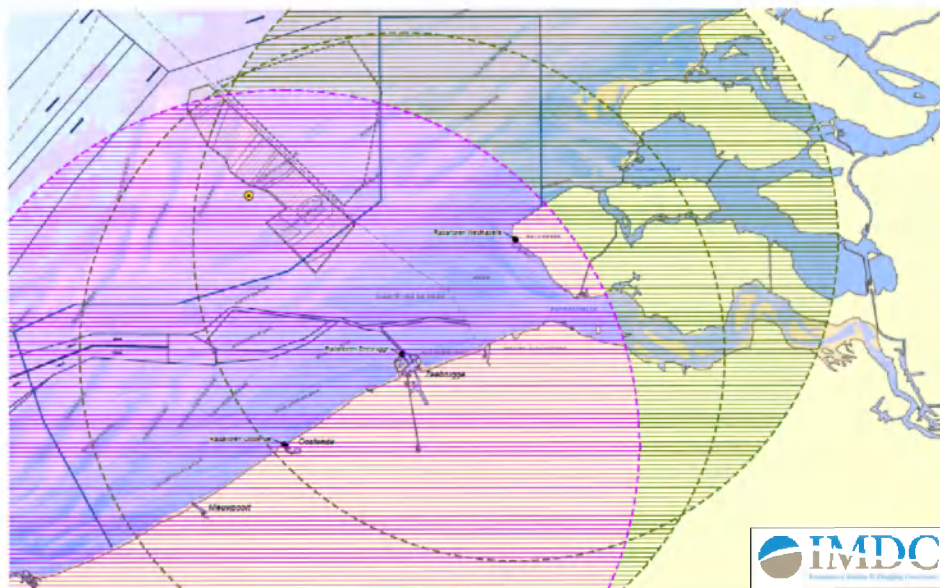


Figuur 75. Typisch zendbereik voor verschillende technische eigenschappen van de boordinstallatie

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.

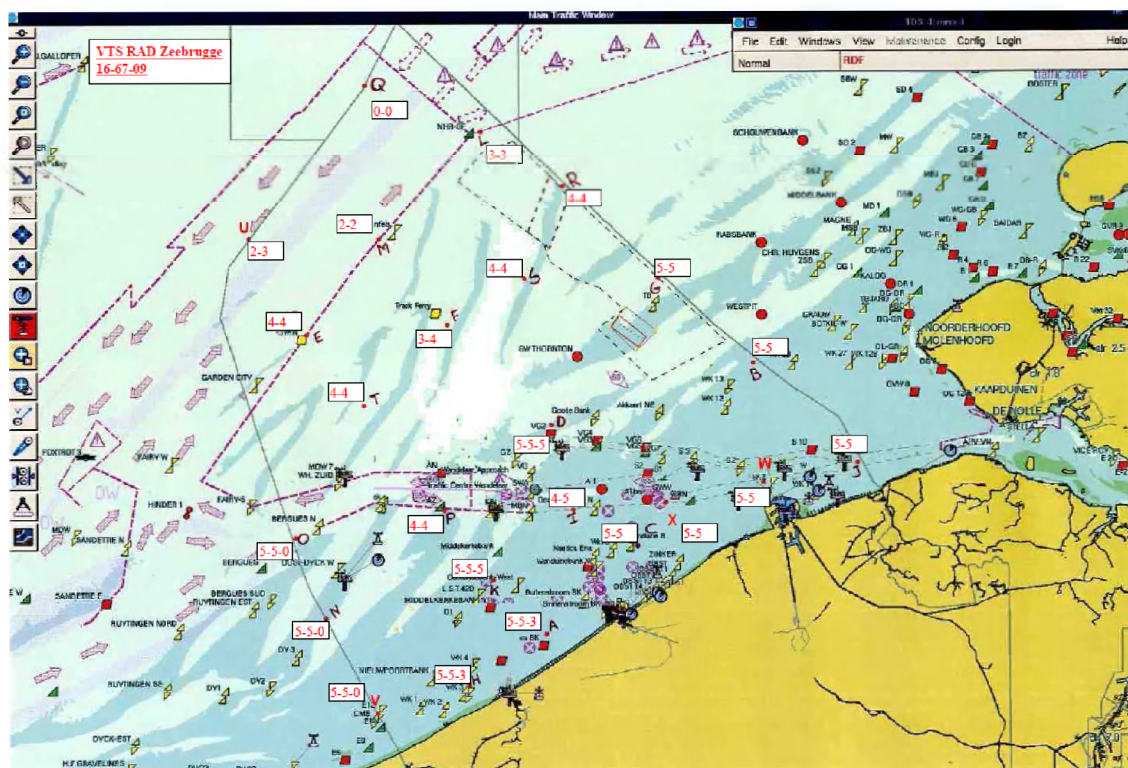


Figuur 76. Worst case reikwijdte voor VHF communicatie van wal naar schip

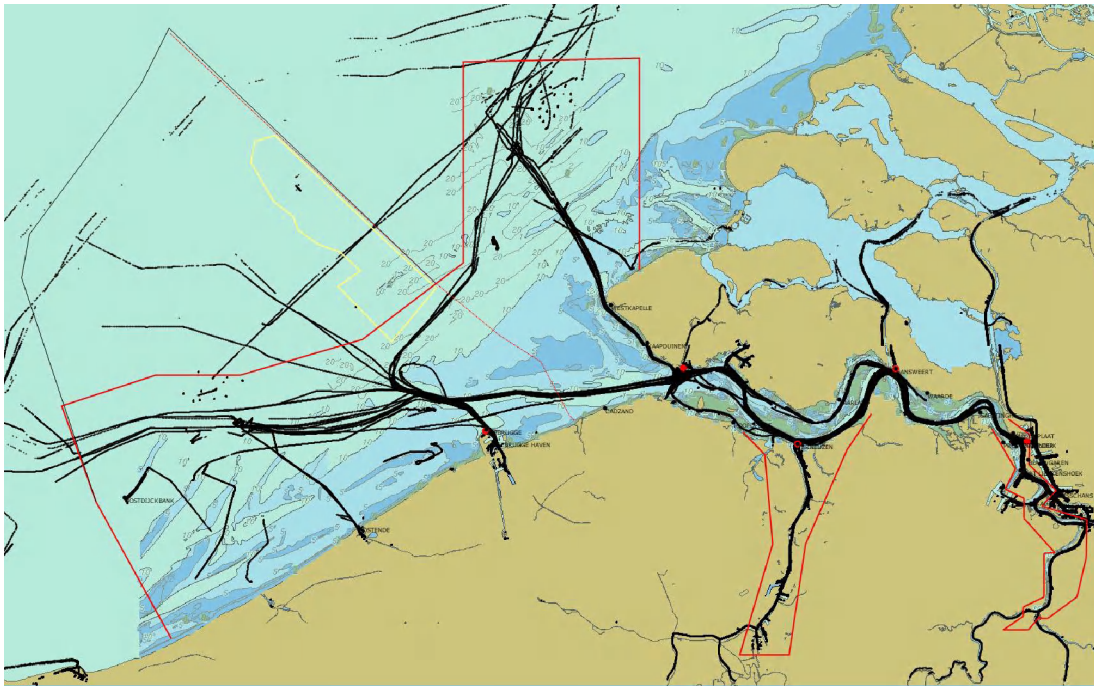


Figuur 77. Best case reikwijdte voor VHF communicatie van wal naar schip

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 78) 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 79), waarbij het “nul” bereik op de ‘verre’ route duidelijk is.



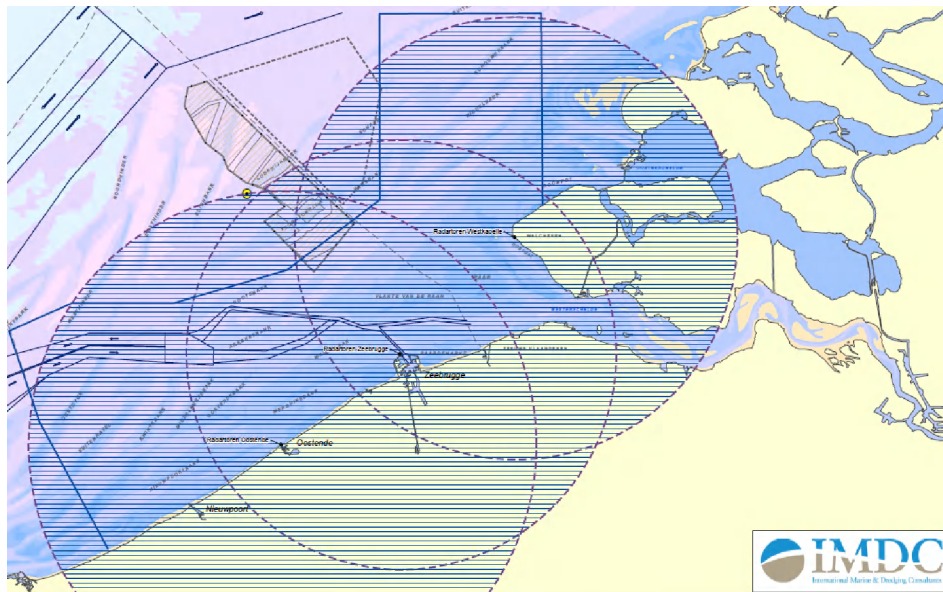
Figuur 78. Overzicht van de ontvangst (waardering 0-5) van de VHF kanalen 16-67-09 op zee



Figuur 79. 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

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 80. 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.

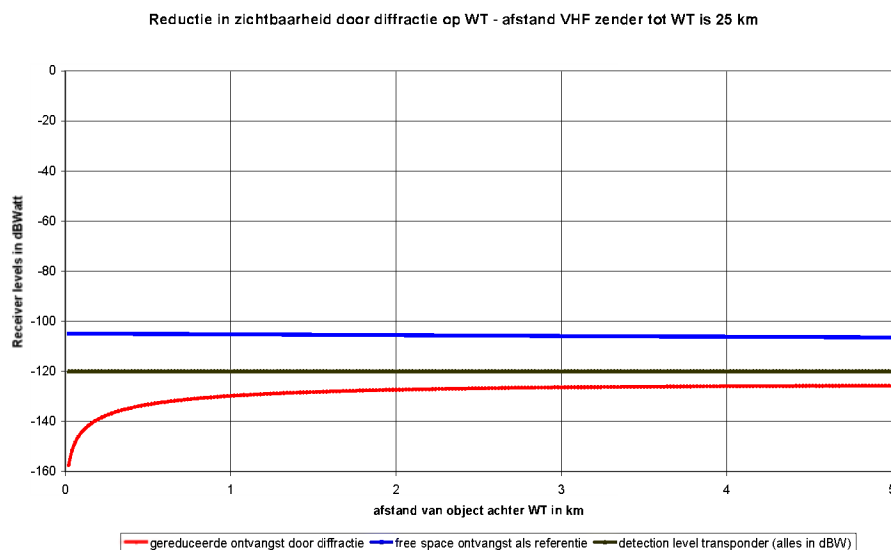
7.2.1. VHF communicatie tussen wal en schip (langere afstand)

Uit de voorgaande basisanalyse volgt dat voor het projectgebied BOG Alpha enkel de VHF radiostations van Oostende en Zeebrugge dienen in aanmerking genomen te worden.

In dit verband dient er expliciet opgemerkt te worden dat het projectgebied BOG Alpha ten opzichte van het VHF kuststation in Zeebrugge, volledig achter de projecten C-Power en Norther verscholen ligt, en dus daardoor niet meer bereikbaar zal zijn. Er ontstaat immers een blinde vlek precies in de luwte achter deze twee meer windturbineprojecten, zoals aangegeven in de volgende figuur 81. De reductie van radiosignaal achter een windturbine uit deze projecten (op 25 km uit de kust gelegen) wordt weergegeven in de grafiek van figuur 82. Daaruit blijkt inderdaad de hoge attenuatie van een VHF radiosignaal achter deze twee windturbineparken, zodat het VHF radiostation in de nabijheid van het projectgebied BOG Alpha quasi niet meer ontvangen zal kunnen worden.



Figuur 81. Blind radio (en radargebied) achter de projecten C-Power en Norther



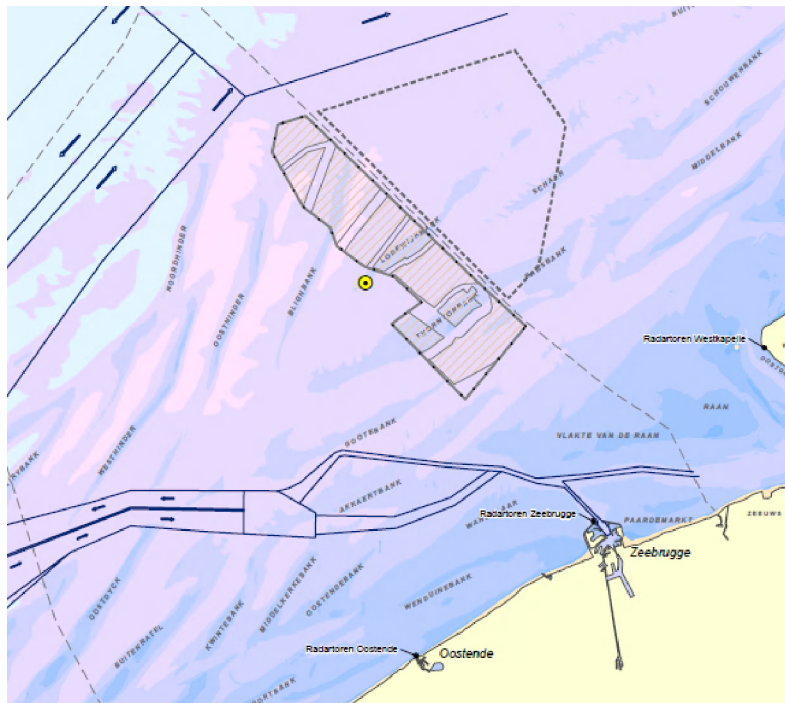
Figuur 82. Damping van VHF signalen achter een windturbine, op een afstand van 25 km uit de kust

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 het projectgebied van het transformatorstation BOG Alpha, wat duidelijk blijkt in figuur 83.

Ook voor de secundaire routes die mogelijk blijven, of verlegd dienen te worden om en rond de concessiegebieden en het transformatorstation, 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 om en rond het transformatorstation zelf bevinden.



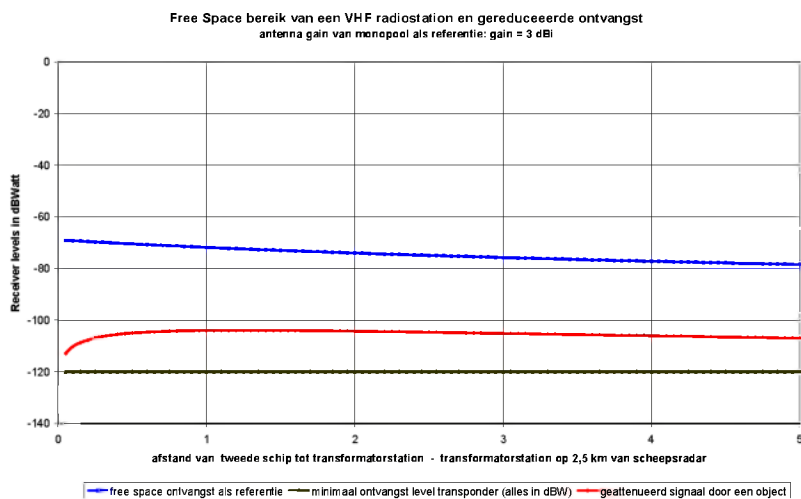
Figuur 83. Ligging van de hoofdroutes van de scheepvaart tegenover het BOG Alpha transformatorstation

In de volgende grafieken worden de resultaten gegeven van de volgende analyses, waarbij werd nagegaan wat de demping van het radiosignaal is onder de volgende condities:

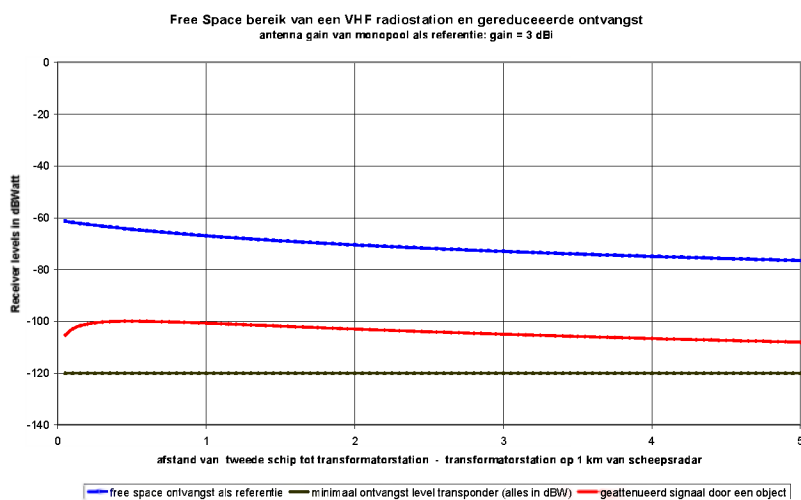
- een schip op een afstand van 2.5 km van het transformatorstation, voor een ontvanger achter het transformatorstation - centrale as (figuur 84)
- een schip op een afstand van 1 km van het transformatorstation, voor een ontvanger achter het transformatorstation - centrale as (figuur 85)
- een schip op een afstand van 250 m van het transformatorstation, voor een ontvanger achter het transformatorstation - centrale as (figuur 86)
- een schip aan de rand van het transformatorstation, op een afstand van 250 m, naar een schip op de zijkant van het transformatorstation (figuur 87)

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).

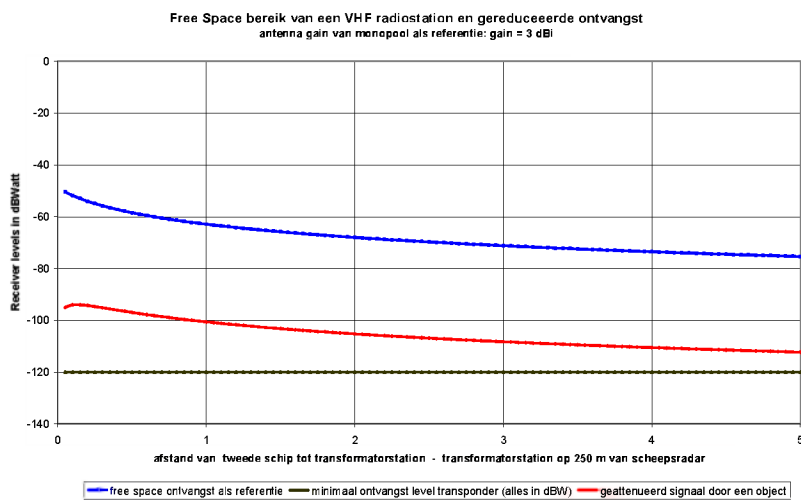
Voor deze studie wordt uitgegaan van een antenna-gain van 3 dBi voor zowel de zender als ontvanger, wat het geval is voor een monopool $\lambda/4$ kwartgolf lengte antenne. Hierbij is verder geen rekening gehouden met eventueel slechte zend/ontvangstomgevingen op de schepen.



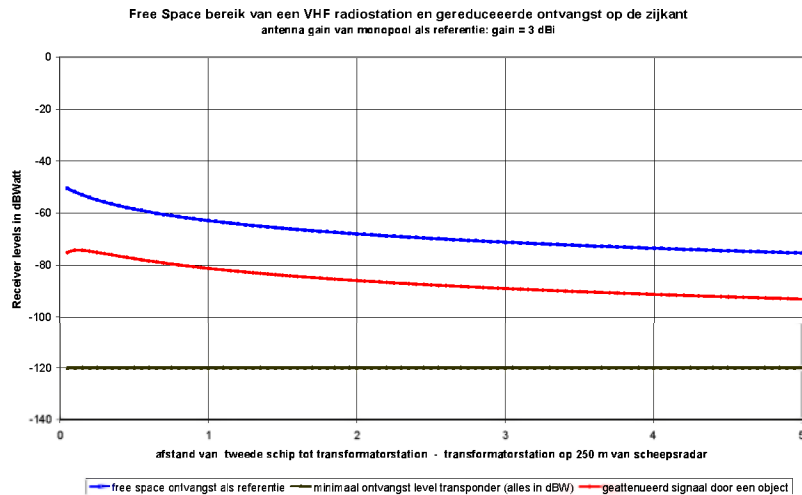
Figuur 84. Damping van het transformatorstation op een afstand van 2.5 km van de VHF zender



Figuur 85. Damping van het transformatorstation op een afstand van 1 km van de VHF zender



Figuur 86. Damping van het transformatorstation op een afstand van 250 m van de VHF zender

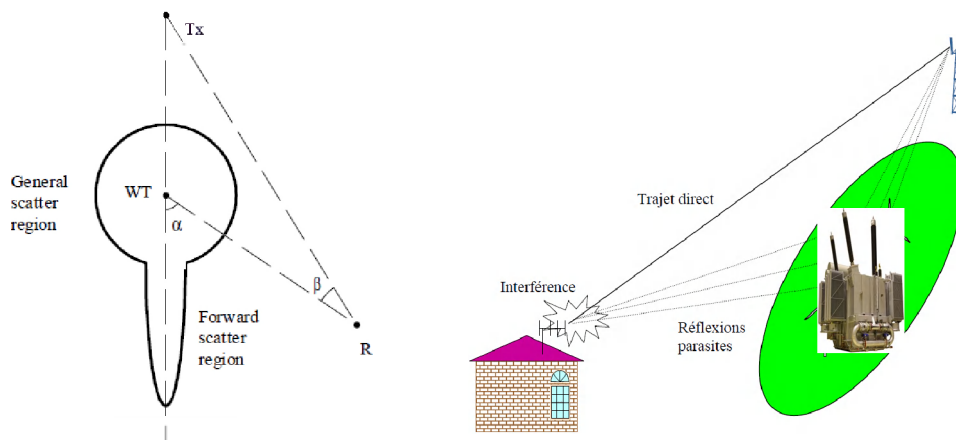


Figuur 86. Damping van het transformatorstation op een afstand van 250 m van de VHF zender
excentrische opstelling van beide schepen

VHF radiocommunicatie blijft dus mogelijk om en rondom het transformatorstation, weliswaar met een sterk gereduceerd signaalniveau. Zoals hoger reeds aangegeven, wordt hierbij geen rekening gehouden met de mogelijke slechte zend/ontvangstomgevingen op de schepen, waarbij gemakkelijk een bijkomende reductie van het radiosignaal van 10 à 20 dB kan voorkomen, waarbij dus onder bepaalde omstandigheden geen VHF radiocontact tot stand kan gebracht worden.

7.3. Effect van multipath transmissie

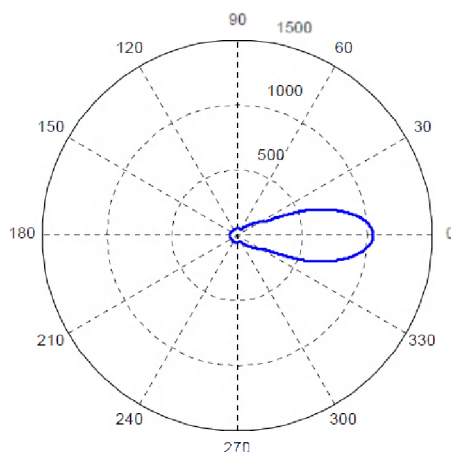
Bij analoge communicatie systemen is het effect van multipath transmissie hoofdzakelijk het feit dat een tweede signaal met een zekere tijdsvertraging bij het direct signaal samenkomt en ook zo gedetecteerd worden. Het fenomeen kan gemakkelijk als volgt beschreven en gemodelleerd worden (figuur 87).



Figuur 87. 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 het transformatorstation. Dit tweede signaal zal een zekere damping 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 88 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 het transformatorstation.



Figuur 88. Zone van mogelijk gestoorde radioontvangst, 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.

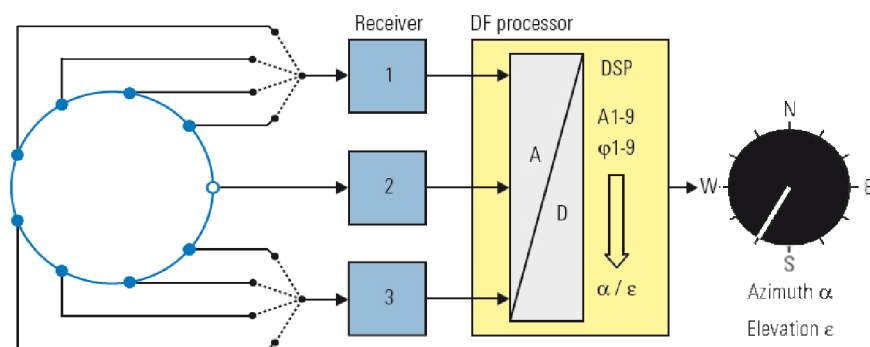
Het AIS systeem is echter een digitaal datatransmissie systeem, met een baudrate van 9600 bps. Een dergelijke bitrate laat een delayspread van het gemoduleerde signaal toe van 104,16 μ sec, zonder dat een fout bitpatroon zou gegenereerd worden.

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 μ sec zou een verschil in transmissieweg van 30 km toestaan. Voor schepen in de nabijheid van het transformatorstation, maar ook 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 (figuur 89), met de AIS gegevens gekoppeld aan de radargegevens, toont inderdaad eenzelfde patroon als de VHF communicatie van figuur 78.

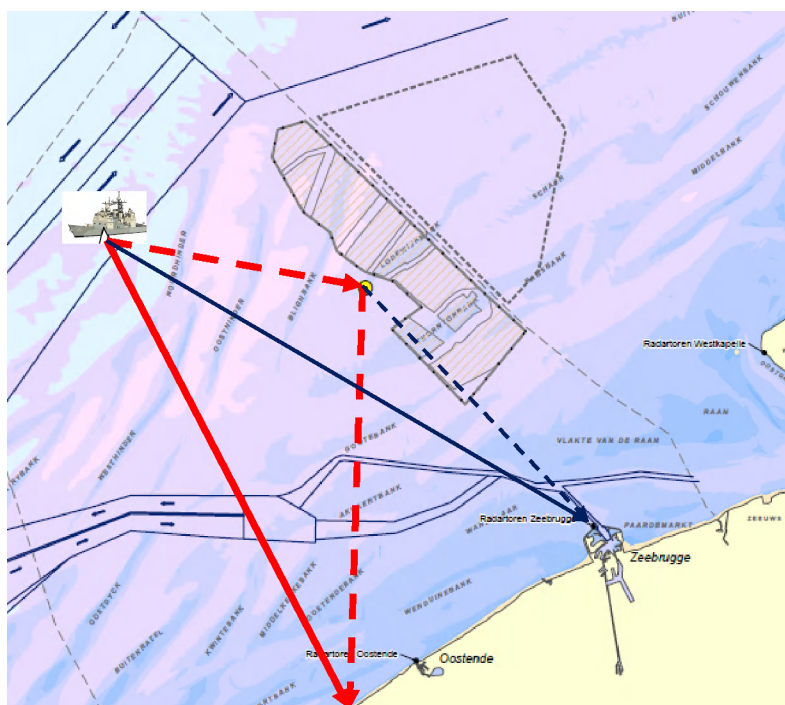
Het systeem bestaat uit 2 groepen van 4 dipoolantennes, die snel worden gescand, en een negende dipoolantenne als referentie. Het principe bestaat erin dat de signalen van telkens twee diametraal tegenover elkaar gelegen antennes tegelijkertijd wordt gemeten. Uit de faseverschillen van de signalen tussen 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 91. 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 golfvront de RDF antenne bereiken, en dit vanuit een andere richting en met een andere fase dan het oorspronkelijke rechtstreekse signaal.

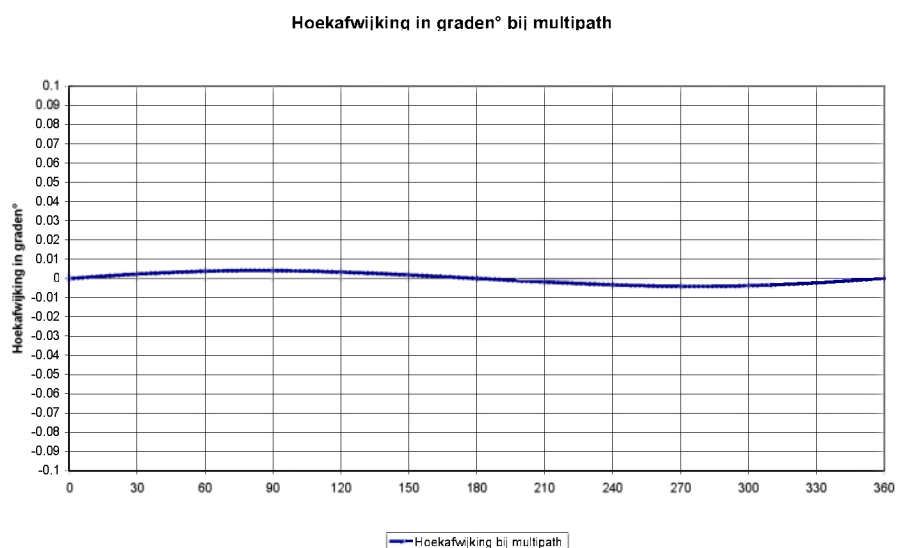
Beide signalen zich samen stellen tot een nieuw signaal, dat als resultante uit een andere richting komt. Dit effect is geschetst in figuur 92, voor zowel het station van Nieuwpoort als Zeebrugge. Het is hierbij duidelijk dat het transformatorstation geen invloed zal hebben voor de RDF peilingen met betrekking tot het station van Zeebrugge, omdat BOG Alpha feitelijk in de schaduwzone achter de windturbineparken Norther en C-Power ligt.



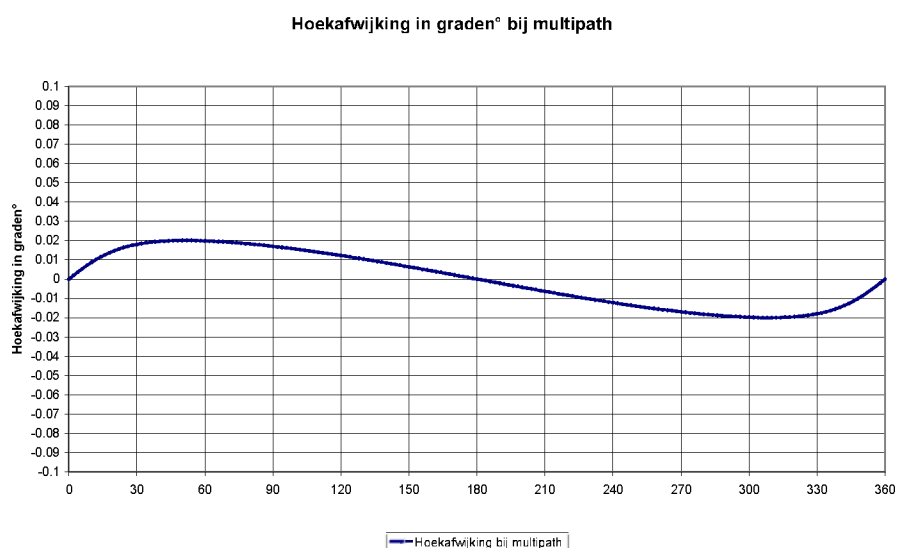
Figuur 92. Principe schets van multipath effect voor RDF

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 van figuur 93 wordt het transformatorstation in acht genomen op een afstand van 40 km tot een RDF peilstation, en dat voor verschillende afstanden tussen schip en RDF station.

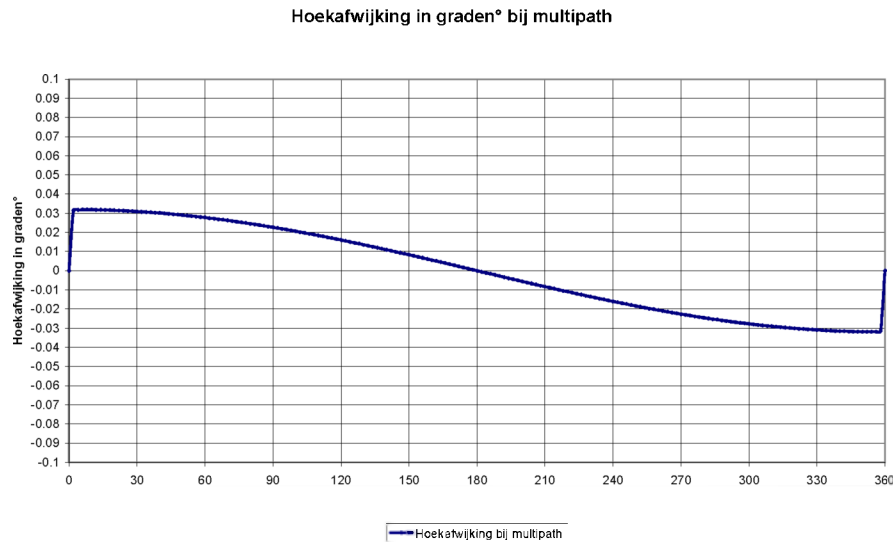
RDF peilstations bevinden zich in Nieuwpoort, Zeebrugge en Haamstede. En er wordt gepeild vanaf de Westhinder, Steenbank en Vlissingen.



Figuur 93a. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 5 km van het RDF station



Figuur 93b. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 25 km van het RDF station



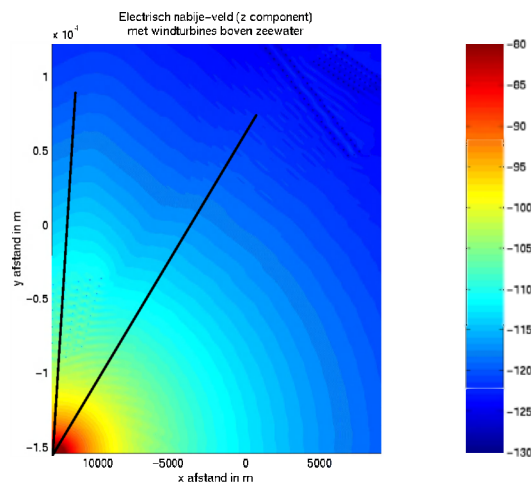
Figuur 93c. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 40 km van het RDF station

Peilingen vanaf de Westhinder zullen niet beïnvloed worden, gezien de afstand en de relatieve ligging van het concessiegebied tot het RDF station van Nieuwpoort. Voor het station van Zeebrugge zijn er geen cumulatieve effecten ten opzichte van de windturbineparken, omdat het transformatorstation BOG Alpha in de schaduwzone ligt van de windturbineparken Norther en C-Power ten opzichte van Zeebrugge.

9.2. 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 het transformatorstation BOG Alpha, zich – naar antenne normen – in de zogenaamde zone van “nabije veld” bevindt.

Uit voorgaande studies blijkt dat de invloed van een object 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, die een mogelijke cluster vormen met vergelijkbare afmetingen als het transformatorstation. Meer details in de paper COST 273 [COST 273, 2002].



Figuur 94. Voorbeeld van de kleine verstoringen op het DGPS signaal van een zender met windturbines in het nabije veld van de zendantenne – ref. paper COST 273

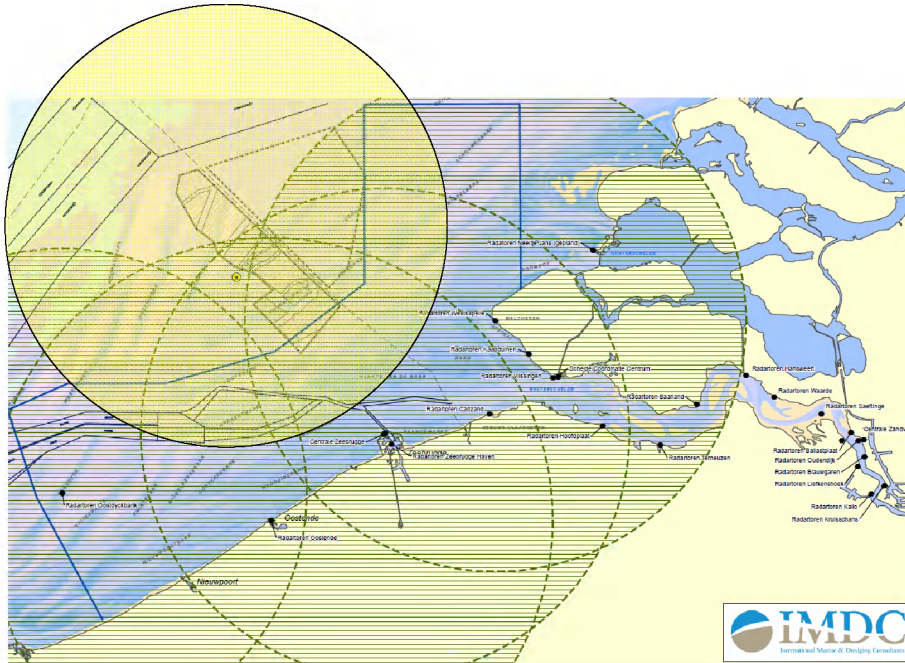
10. Bijkomend relaisstation voor VHF radiocommunicatie/AIS – “Belwind”

Een relaisstation voor de VHF radiocommunicatie en AIS 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, en voor de AIS communicatie naar de verder gelegen hoofdnavigatieroutes.

De realisatie hiervan was gepland per 1 juli 2012, maar op dit ogenblik (juni 2013) is enkel het AIS station operationeel, en zijn er geen directe plannen voor het VHF relaisstation.

In de volgende figuur 95 wordt de uitbreiding van het VHF bereik geschetst bij in gebruik name van dit bijkomende relaisstation.



Figuur 95. Uitbreiding van het AIS bereik bij installatie van een bijkomend relaisstation “Belwind”

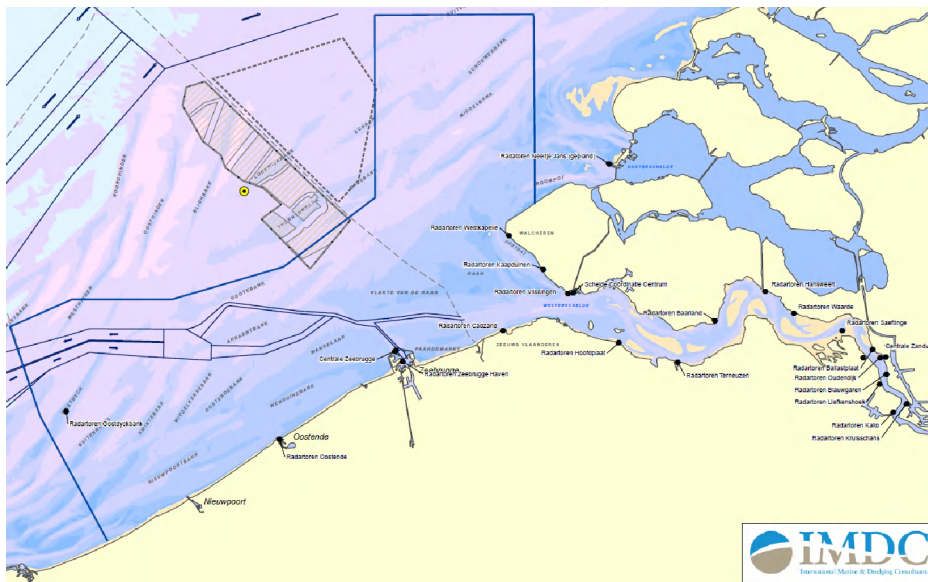
CONCLUSIES

Uit de voorgaande analyses en bijhorende simulaties kunnen de volgende conclusies geformuleerd worden, naar zowel de effecten in het algemeen, als naar de impact van het project transformatorstation BOG Alpha in het bijzonder op de operationele werking van de radarsystemen en de marifonie. De conclusies omvatten telkens de besproken effecten op de SRK radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone radiocommunicatiesystemen.

C1. Impact op de waarnemingen van de SRK walradarstations.

Eerst en vooral dient opgemerkt te worden dat het transformatorstation BOG Alpha buiten het wettelijke werkingsgebied van de SRK walradarketen ligt, zoals dit duidelijk te zien is op de figuur 96 waar zowel het projectgebied BOG Alpha, het Belgische concessiegebied voor offshore windturbineparken, als het SRK werkingsgebied worden weergegeven.

Dit neemt echter niet weg dat het feitelijke werkingsgebied van de SRK walradarketen zich verder uitstrekt, en dat het scheepvaartverkeer daar ook opgevolgd wordt.

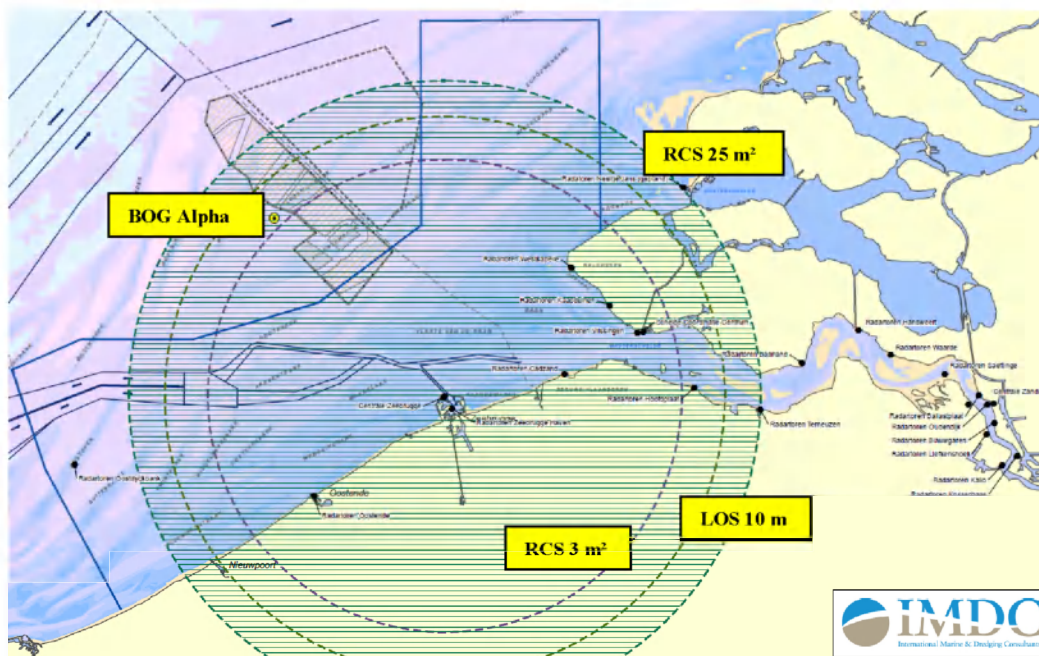


Figuur 96. SRK werkingsgebied, het Belgische concessiegebied voor offshore windparken en het projectgebied BOG Alpha

C.1.1. Reikwijdte van de SRK radarstations

De reikwijdte van de SRK radarstations wordt enerzijds bepaald door de effectieve LoS (Line of Sight), en anderzijds door de RCS (Radar Cross Section) van de schepen.

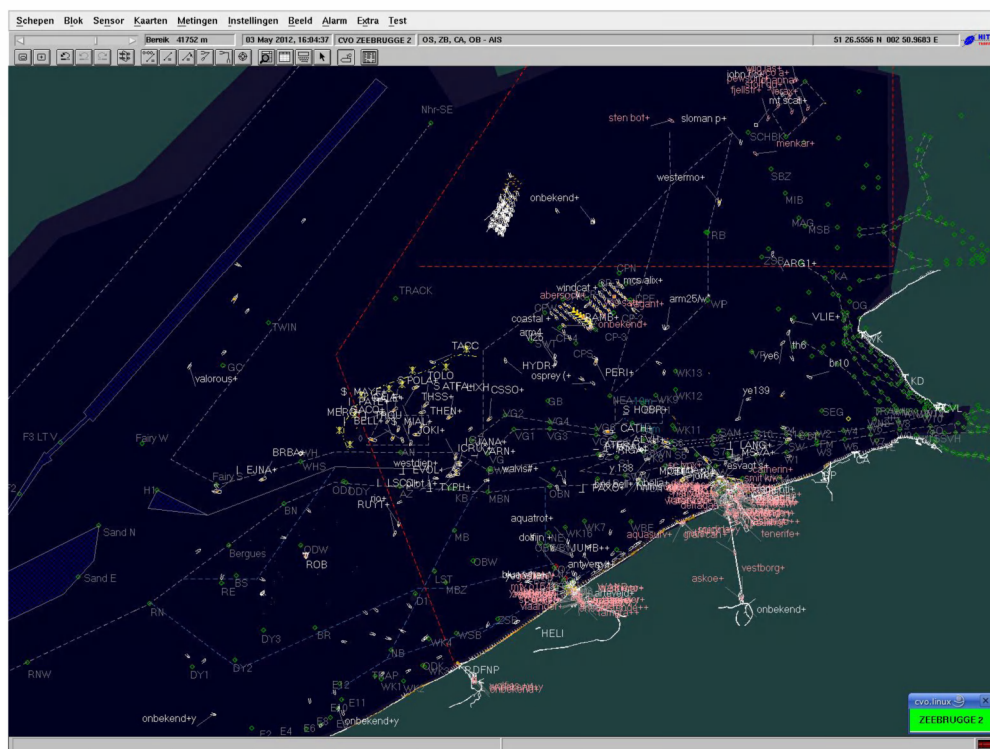
De LoS hangt af van zowel de hoogte van de radar antennemast aan de wal, als de hoogte van de objecten op zee. Maar binnen deze voorwaarden is ook de RCS van de schepen mee bepalend, omdat het gereflecteerde signaal nog voldoende detecteerbaar moet zijn boven de ruis van de ontvanger (Signal/Noise ratio of S/N). Als voorbeeld toont de volgende figuur 97 een combinatie van LoS reikwijdte bij een objecthoogte van 10 m, en het RCS bereik voor een RCS waarde van 1 m² en 25 m², voor het radarstation van Zeebrugge, en waarbij dus in het ene geval de LoS en in het andere geval de RCS de beperkende factor is.



Figuur 97. Voorbeeld voor de SRK radar van Zeebrugge omtrent beperking van de reikwijdte in functie LoS en RCS

Hieruit volgt dat grotere schepen met een grotere hoogte boven de zeespiegel en een grotere RCS waarde meteen tot op een grotere afstand kunnen waargenomen worden dan kleinere schepen.

Deze effecten zijn duidelijk waarneembaar op de screenshot van figuur 98, waarbij het project Belwind duidelijk te zien is, maar nagenoeg alle schepen op grotere afstand “verdwenen” zijn uit het geregistreerde radarbeeld.

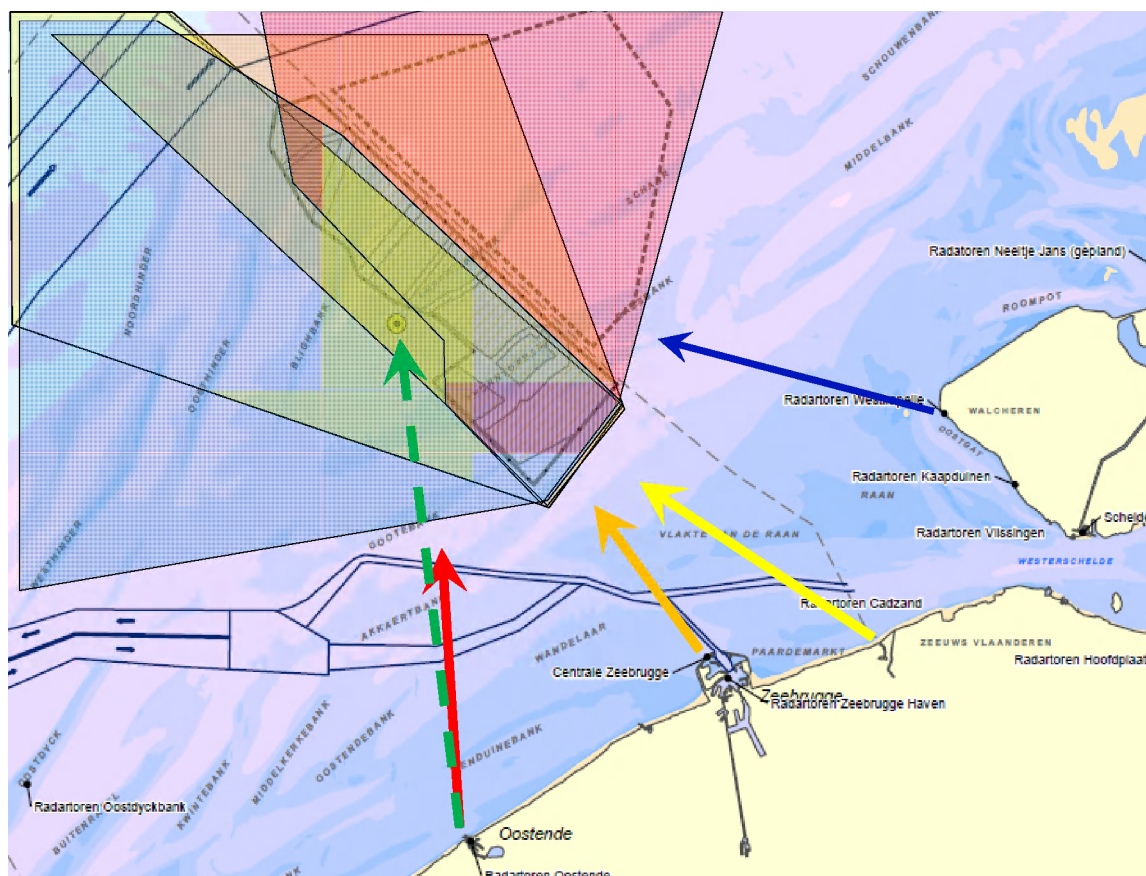


Figuur 98 . Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname)

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

C.1.2. Shadowing en dode zones

Uit de voorgaande studies en specifieke analyses en simulaties blijkt dat achter de offshore windparken er een radarblinde zone zal ontstaan voor de SRK radar installaties. Dit betekent concreet dat voor de radars van Oostende en Zeebrugge een gedeelte ten oosten van het concessiegebied en voor de radars van Cadzand en Westkapelle een gedeelte ten westen van het Belgische concessiegebied, niet meer zichtbaar zal zijn. Zoals echter reeds in C.1.1. aangehaald, zal dit geen repercussie hebben op de goede werking van de SRK radarketen.



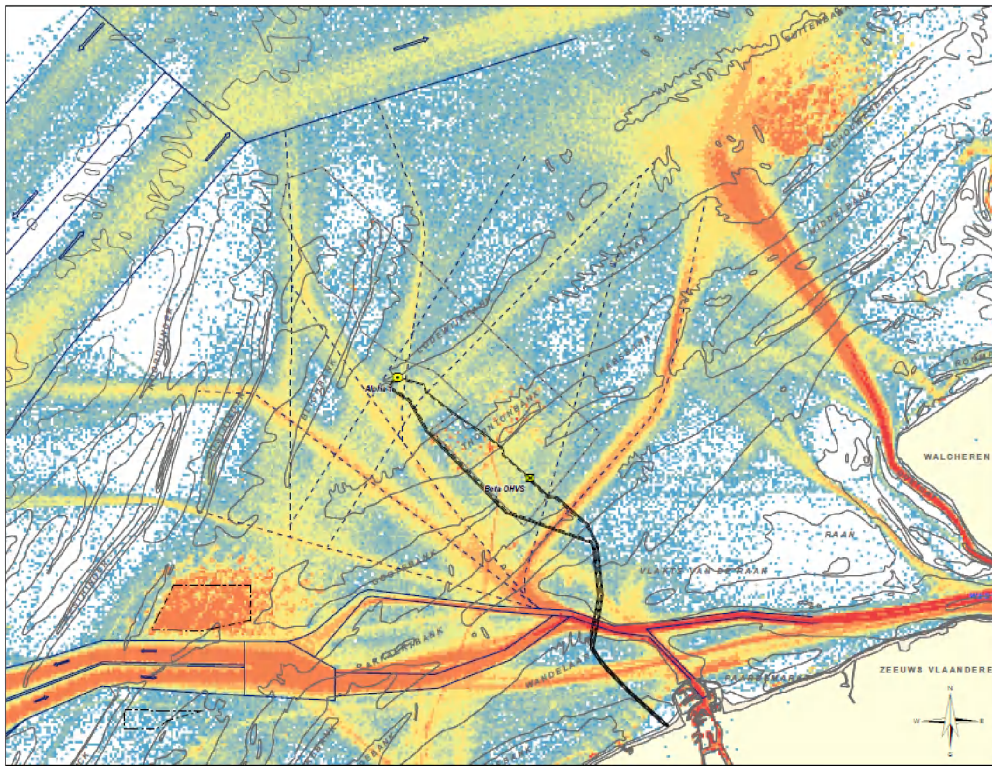
Figuur 99. Schematische voorstelling van de richtingen waarin schaduwzones optreden voor de verschillende SRK radarstations, en waardoor het projectgebied BOG Alpha volledig verdoken ligt achter de offshore windparken van Norther en C-Power (oranje en gele pijlen) of toch nog zichtbaar blijft (rode pijl), of bij niet-invulling van het concessiegebied Borssele (blauwe pijl)

Bovendien dient hier expliciet gesteld te worden dat het projectgebied BOG Alpha verdoken ligt achter de voorliggende windparken van Norther en C-Power voor wat de radarinstallaties betreft van Zeebrugge en Cadzand en dus geen bijkomende cumulatieve effecten met zich zal meebrengen. Het projectgebied BOG Alpha blijft in directe lijn zichtbaar voor de radarinstallatie van Oostende.

Het is hierbij duidelijk dat er een bijkomende dode radarzone ontstaat achter het transformatorstation BOG Alpha voor het radarstation van Oostende.

C.1.3. Mogelijke valse echo's door meervoudige reflecties

Valse echo's door het optreden van meervoudige reflecties zullen zich ten opzichte van de SRK radarketen niet voordoen.



Figuur 101. Huidige navigatieroutes, en ligging van het concessiegebied voor windturbineparken en de projectgebieden van het Belgian Offshore Grid

Het is duidelijk dat voor de nieuwe secundaire routes, en ook voor het scheepvaartverkeer van en naar de offshore windparken en het transformatorstation BOG Alpha, aandacht dient besteed te worden aan die effecten die zich op korte afstand van de offshore constructies manifesteren, en specifiek rond het transformatorstation BOG Alpha. Deze worden in de volgende paragrafen besproken.

C.2.2. Mogelijke detectie door zijlobes

Uit de voorgaande analyses blijkt dat detectie van het transformatorstation via de zijlobes van de scheepsradarantenne, mogelijk is binnen een typische afstand tot 2,5 km. Dit betekent dat er zich een “valse echo” kan voordoen met een virtueel object op het radarscherm. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat een dergelijk verschijnsel niet eigen is aan de aanwezigheid van het transformatorstation, maar zich kan voordoen bij alle grotere objecten. Radaroperatoren aan boord kennen normaal gezien dit verschijnsel, en zullen meestal de gevoeligheid van de ontvanger kortstondig verminderen, zodat detectie via zijlobes zich niet meer voordoet.

C.2.3. Shadowing en dode zones

Shadowing en radar blinde zones kunnen optreden voor objecten die in lijn liggen van de scheepsradar en het transformatorstation. Dit verschijnsel is ook van groot belang voor schepen op relatief kortere afstand van het transformatorstation (typisch 2,5 km tot 5 km). Uit de voorgaande analyses blijkt dat er zich een volledige radarblindheid zal voordoen in lijn achter het transformatorstation, en een beperkte zichtbaarheid voor wat een zijkant betreft. Specifieke aandacht zal hierbij dienen besteed te worden voor schepen die de aanmeerkade aandoen in verband met onderhoudswerkzaamheden.

C.2.4. Vrije radarpropagatie onder Fresnel condities

Gegeven het concept van constructie, is er geen vrije radarpropagatie mogelijk doorheen het transformatorstation.

C.2.5. Mogelijke valse echo's door meervoudige reflecties

Meervoudige reflecties kunnen optreden, maar enkel op een relatief korte afstand van maximaal 1,5 km tussen scheepsradar en transformatorstation. Dit is echter geen verschijnsel dat zich specifiek voordoet rond dit transformatorstation, maar ook rond de windturbineparken en zelfs tussen verschillende schepen onderling.

De radaroperatoren kennen dit verschijnsel, en kunnen desgevallend de gevoeligheid van de scheepsradar voor korte tijd verminderen, zodat de beeldvorming op het scherm niet verstoord wordt.

C.2.6. Fouten door diffractie en multipath propagatie

Op korte afstand kunnen zich fouten voordoen ten opzichte van een exacte azimuth bepaling van een object. Gegeven de korte afstand waarbinnen zich grotere fouten dan de eigen resolutie van de radarbundel kunnen voordoen (tot ongeveer 0,5 km), blijft de resulterende fysische fout in azimuthale afstand toch voldoende klein. Vanaf afstanden tussen scheepsradar en objecten van 1 km en meer, worden de fouten verwaarloosbaar tegenover de eigen resolutie van de radarantenne.

Algemeen kan dus gesteld worden dat met betrekking tot de operationele werking van de scheepsradar er zich eerst en vooral een radarblinde zone zal voordoen in lijn achter het transformatorstation. Dit vraagt zeker de nodige aandacht voor scheepvaartverkeer om en rond het transformatorstation, en specifiek voor het verkeer naar de aanmeerkade.

De fenomenen van valse echo's en multipath zijn voldoende 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.

C.3. Impact op de VHF communicatie en aanverwante marifone systemen (AIS, RDF).

Vooreerst dient gesteld te worden dat de hieronder geformuleerde conclusies zowel gelden voor de VHF communicatie zelf, als voor de AIS en RDF systemen, die ook gebruik maken van een aantal eigen VHF radiokanalen. Er wordt opnieuw onderscheid gemaakt tussen de communicatie van schip naar wal en van schip naar schip.

Hierbij dient ook aangestipt te worden dat slechts een beperkt aantal fenomenen van belang of van toepassing zijn bij de marifone communicatiesystemen, en dat zijlobe detectie en meervoudige reflecties een gelijkaardig verschijnsel opleveren als multipath propagatie.

C.3.1. Reikwijdte van de VHF systemen.

Zoals voor de radarinstallaties zal hier de LoS afstand de feitelijke reikwijdte van de VHF systemen bepalen. Dit betekent in de praktijk een typische afstand van 40 km voor de communicatie van schip/wal en 25 km voor schip/schip.

Voor het scheepvaartverkeer op de hoofd navigatieroutes zal de realisatie van het transformatorstation BOG Alpha geen direct operationeel gevolg hebben en geen verschil uitmaken met de huidige werking en mogelijkheden.

Voor de secundaire navigatieroutes zal de realisatie van het transformatorstation BOG Alpha alleen gevolgen hebben voor de VHF communicatie van het radiostation Oostende, vergeleken met de situatie van volledige invulling van het concessiegebied voor windturbines.

Het transformatorstation ligt immers reeds in de schaduwzone achter de windturbineparken Norther en C-Power, voor wat het radiostation van Zeebrugge betreft.

Enkel voor de radiocommunicatie vanuit het radiostation Oostende ontstaat er achter het transformatorstation een bijkomende dode zone, waarbij radiocontact quasi onmogelijk zal zijn. Dit vergt dus wel de nodige aandacht, zeker voor wat het scheepvaartverkeer betreft van en naar de windparken en naar de aanmeerkade van het BOG Alpha.

Dit geldt evenzeer voor het radioverkeer tussen de schepen onderling, waarbij radiocontact mogelijk zal zijn of blijven, afhankelijk van de relatieve posities onderling en ten opzichte van het transformatorstation.

C.3.2. Shadowing en dode zones, en vrije radiopropagatie onder Fresnel condities

Zoals hierboven in C.3.1. reeds besproken zal er zich alleen een effect voordoen voor de VHF communicatie van het radiostation Oostende, in vergelijking met de situatie bij een volledige invulling van het concessiegebied voor windturbines. Het transformatorstation ligt immers reeds in de schaduwzone achter de windturbineparken Norther en C-Power, voor wat het radiostation van Zeebrugge betreft.

Enkel voor de radiocommunicatie vanuit het radiostation Oostende ontstaat er achter het transformatorstation een bijkomende dode zone, waarbij radiocontact quasi onmogelijk zal zijn. Dit vergt dus wel de nodige aandacht, zeker voor wat het scheepvaartverkeer betreft van en naar de windparken en naar de aanmeerkade van het BOG Alpha.

Dit geldt evenzeer voor het radioverkeer tussen de schepen onderling, waarbij radiocontact mogelijk zal zijn of blijven, afhankelijk van de relatieve posities onderling en ten opzichte van het transformatorstation.

Op te merken valt dat door het concept van constructie er geen vrije radiopropagatie (Fresnel condities) doorheen het transformatorstation mogelijk zal zijn.

C.3.3. Mogelijke effecten van multipath propagatie

Mogelijke effecten op de kwaliteit van de radio ontvangst kunnen zich voordoen binnen een afstand van ongeveer 1 km rond het transformatorstation. Dit type effect doet zich echter ook voor door reflecties op andere objecten (aan boord) of andere schepen binnen eenzelfde afstand en zijn dus niet eenzijdig toe te schrijven aan het transformatorstation. Dit geldt zowel voor de communicatie tussen schip en wal, en schip naar schip.

Verder kan expliciet gesteld worden dat de realisatie van het transformatorstation geen directe invloed zal hebben op zowel de werking van de AIS systemen, als van de RDF systemen. Zoals hierboven aangehaald wordt de reikwijdte hiervan evenzeer beperkt door de LoS afstanden van de VHF communicatie systemen, en blijven de mogelijke fouten beperkt binnen de specificaties van beide systemen.

Algemeen kan dus gesteld worden dat met betrekking tot de VHF radiostations er zich enkel ten opzichte van het radiostation Oostende een bijkomende dode zone zal voordoen achter het transformatorstation. Een gelijkaardig effect zal zich voordoen voor de VHF communicatie tussen schepen in dit gebied, wat met betrekking tot het scheepvaartverkeer in de directe omgeving wel de nodige aandacht verdient. De werking van het AIS systeem en het RDF systeem zal niet beïnvloed worden.

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

Besluit

Algemeen kan dus gesteld worden dat de realisatie en inplanting van het transformatorstation BOG Alpha geen noemenswaardige invloed zal hebben op de bewaking en opvolging van het scheepvaartverkeer op de grote routes, zoals het zich momenteel voordoet. Dit geldt ook voor de VHF radiocommunicatie.

Een bijzonder aandachtspunt is echter wel het scheepvaartverkeer in en om het transformatorstation, en specifiek het verkeer voor onderhoudswerkzaamheden naar de aanlegkade van BOG Alpha.

Zowel voor het kuststation van Oostende, als voor alle waarnemingen en communicatie tussen schip en schip, stelt zich het probleem dat er telkens een radarblinde of radioblinde zone zal ontstaan, in lijn achter het transformatorstation. Specifiek hierbij is de radarblindheid ten opzichte van het grootste deel van de omgeving voor schepen die aanmeren aan de kade van het transformatorstation BOG Alpha.

Het scheepvaartverkeer in deze directe omgeving van het transformatorstation BOG Alpha zal dus met de nodige omzichtigheid dienen te gebeuren.

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 transformatorstation zelf is in deze studie niet aan bod gekomen. Hiervoor dienen er uiteraard gepaste maatregelen getroffen te worden, vooral om de scheepvaarttrafiek om en rond het transformatorstation BOG Alpha 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 niet allen het transformatorstation BOG Alpha, maar meteen alle offshore windturbineparken (Norther, C-Power, “RENTTEL”, SeaStar, Northwind, Belwind en Mermaid) kan en zal “bedienen”.

REFERENTIES

- Eurocontrol, Guidelines how to assess the potential impact of windturbines on surveillance sensors, 2010
- Rashid L., RCS and radar propagation near off shore wind farms, 2007
- Poupart G., Wind Farms impact on radar aviation interests, Qinetiq, FES W/14/00614/00/REP, September 2003
- Perry J., Wind Farm clutter mitigation in air surveillance radar, IEEE A&E Systems Magazine, June 2007
- Pinto J., Radar Signature Reduction of Wind Turbines through the application of stealth technology, 2009
- Greving G., Wind Turbines in the Radiation Field of Systems from a Prediction and Siting Point of View, 2007
- Greving G., RCS – Numerical, Methodological and Conceptional Aspects for the Analysis of Objects, 2009
- Greving G., On the Relevance of the Measured or Calculated RCS for Objects on the Ground, WT's, 2009
- Greving G., Wind Turbines as Distorting Scattering Objects for Radar-Clutter Aspects and Visib
- Frye et al., New measurement results for WT radar impacts together with aircraft overflight tests, Cassidian 2011, presented at the EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop in Brussels
- Frye et al., WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Cassidian/EADS, October 2011
- TSC, Report of the effect on radar performance on the proposed Cape wind project, December 2008
- ITU-R BT.805, Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine, 1992
- ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), Perturbation de la reception des ondes radioélectriques par les éoliennes, 2002
- ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), Perturbation du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes, 2008
- COST 273, Van Lil, Trappeniers, Catrysse, Computations of the effects of windturbines on RF sytems, 2002

Appendix 1: Literatuuroverzicht

Hierna wordt een overzicht gegeven van beschikbare literatuur omtrent RCS waarden van schepen en windturbines en diverse effecten van offshore windparken op radarinstallaties.

1. Algemene informative

- 1.1. Offshore renewable energy installations, Guidance on UK practice and safety, MGN 371, Maritime and Coastguard Agency, August 2008
- 1.2. RCS in radar range calculations for maritime targets, Ingo Harre, Bremen, V2.0, 2004
- 1.3. Definition and control of the RCS requirement on surface combatant vessels, IDS Ingegneria dei sistemi, <http://www.armedforces-int.com/article/rcs-ship-requirements>
- 1.4. 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
- 1.5. RCS and radar propagation near offshore wind farms, L. Rashid & A. Brown, IEEE 2007
- 1.6. First customer installation and site trials with the new SCANTER 5000 radar of Therma, Jens Pederson, Therma, 2010
- 1.7. Small target detection from the next generation SCANTER 5000 radar of Therma, Jens Pederson, Therma, 2010

2. Offshore windparken en invloed op de walradar en scheepsradar

- 2.1. Revised Navigational Risk Assessment for the Cape wind project, Nantucket Sound, ESS Group Inc., Wellesley, Massachusetts, November 2006
- 2.2. 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
- 2.3. 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, M. Howard & C. Brown, QinetiQ/03/00297/1.1 and MCA MNA 53/10/366, November 2004
- 2.4. Methodology for assessing the marine navigational safety risks of offshore wind farms, DTI, MCA and Department for Transport, UK, 2005
- 2.5. Aberdeen offshore wind farm development, Navigational risk assessment, Anatec, 2006
- 2.6. Investigation of technical and operational effects on marine radar close to Kentish Flats Offshore wind farm, DTI, MCA en BWEA, April 2007
- 2.7. 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
- 2.8. Stealth technology for wind turbines, Department for Business Enterprise & Regulatory Reform (BERR), Final Report, December 2007 (contract 44/00658/00/00).

- 2.9. 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
- 2.10. Impact modeling of wind farms on marine navigational radar, L. Rashid & A. Brown, MACS engineering research group, University of Manchester, 2007
- 2.11. 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
- 2.12. Monitoring effects of wind parks at sea, A. Klip, MBM – Movares, Int. Energy Agency, 60th IEA topical meeting “Radar, radio links and wind turbines”, Proceedings, Amsterdam, November 2009
- 2.13. Scattering analysis of a wind farm, A. Casanova et al., Proceedings of the 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich 2009
- 2.14. Perturbation du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes, ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), 2008
- 2.15. Computations of the effects of windturbines on RF sytems, Van Lil, Trappeniers & Catrysse, COST 273, 2002

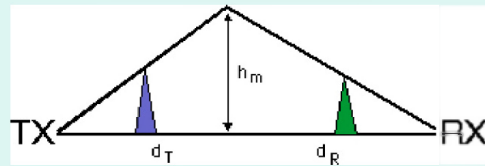
3. Offshore windparken en invloed op de radar (luchtvaart)

- 3.1. Wind turbines and radar: operational experience and mitigation measures, report to a Consortium of wind energy companies, Spaven Consulting, Edinburgh, 2001
- 3.2. Wind farms and radar, M. Brenner et al., Jason Mitre Corporation, McLean Virginia, Report JSR 08 125, January 2008
- 3.3. Report to the congressional defense committees, The effect of windmill farms on military Readiness, US Department of defense, 2006
- 3.4. Radar Signatures and wind turbines, M. Ragheb, January 2009
- 3.5. Modeling the effects of wind turbines on radar returns, R. Ohs, G. Skidmore & G. Bedrosian, Remcon Inc. State College, PA USA, 2010
- 3.6. CAA Policy and guidelines no wind turbines, UK civil aviation authority, CAP 764
- 3.7. Riviera wind farm effect on Kingsville naval air station radar, ATDI, 2009
- 3.8. Impact of Riviera wind farm on monopulse secondary surveillance radar at Kingsville naval air station, ATDI, 2009
- 3.9. Range Doppler domain signal processing to mitigate wind turbine center, F. Nai et al.
- 3.10. Assessment of the effects of wind turbines on Air Traffic Control radars, NTIA
- 3.11. Wind turbine clutter, B. Hernando, F. Martinez, “Radar Technology” December 2009
- 3.12. Characterisation and mitigation of wind turbine clutter on the WSR network, B. Isom et al., NEXRAD radar operations center, Norman, Oklahoma (USA)

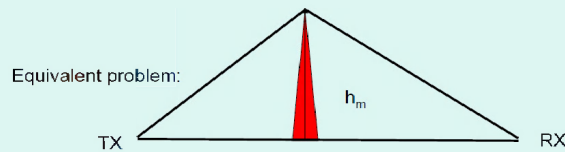
- 3.13. Investigation of Doppler features from wind turbine scattering, A. Naqvi et al., IEEE Antennas and wireless propagation letters, Vol. 9, 2010
- 3.14. Radar and windturbines, A.Theil et al. (TNO), IEEE Radar Conference, 2010
- 3.15. Software tools for the analysis of potential impact of wind farms on radiocommunication services, Int. Symposium on BSM, IEEE 2011
- 3.16. Radar performance degradation due to the presence of wind turbines, A.Theil et al., IEEE Radar Conference, 2007
- 3.17. Impact study of 130 offshore wind turbines in Nantucket Sound, S.Hawk, 2009
- 3.18. Eurocontrol, Guidelines how to assess the potential impact of windturbines on surveillance sensors, 2010
- 3.19. Wind Farms impact on radar aviation interests, G. Poupart, Qinetiq, FES W/14/00614/00/REP, September 2003
- 3.20. Wind Farm clutter mitigation in air surveillance radar, J. Perry, IEEE A&E Systems Magazine, June 2007
- 3.21. Radar Signature Reduction of Wind Turbines through the application of stealth technology, J. Pinto, 2009
- 3.22. Wind Turbines in the Radiation Field of Systems from a Prediction and Siting Point of View, G. Greving, Navcom 2007
- 3.23. RCS – Numerical, Methodological and Conceptional Aspects for the Analysis of Objects, G. Greving, Navcom 2009
- 3.24. On the Relevance of the Measured or Calculated RCS for Objects on the Ground, WT's G. Greving, Navcom 2009
- 3.25. Wind Turbines as Distorting Scattering Objects for Radar-Clutter Aspects and Visib, G. Greving, Navcom 2010
- 3.26. New measurement results for WT radar impacts together with aircraft overflight tests, Frye et al., Cassdian 2011, EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop
- 3.27. WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Frye et al., Cassidian/EADS, October 2011
- 3.28. ITU-R BT.805, Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine, 1992
- 3.29. Perturbation de la reception des ondes radioélectriques par les éoliennes, ANFR (Agence Nationale des Fréquences de France), 2002
- 3.30. Interaction between radar systems and windfarms, J. Matthews et al., BAESystems, Loughborough antenna's and propagation conference, 2008

Appendix 2: Fresnel modellen bij multi-objecten

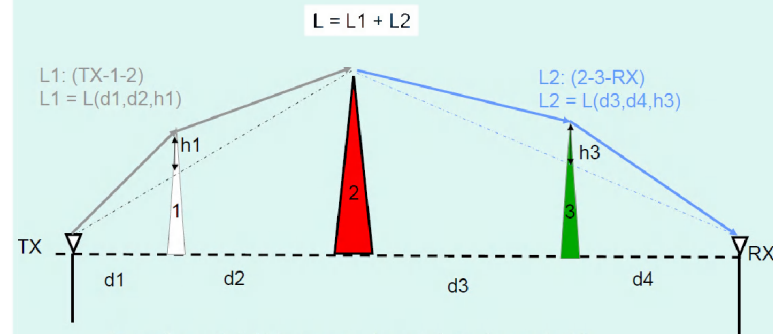
Bullington Method



Defines a new effective obstacle at the point where the LOS from the two antennas cross.

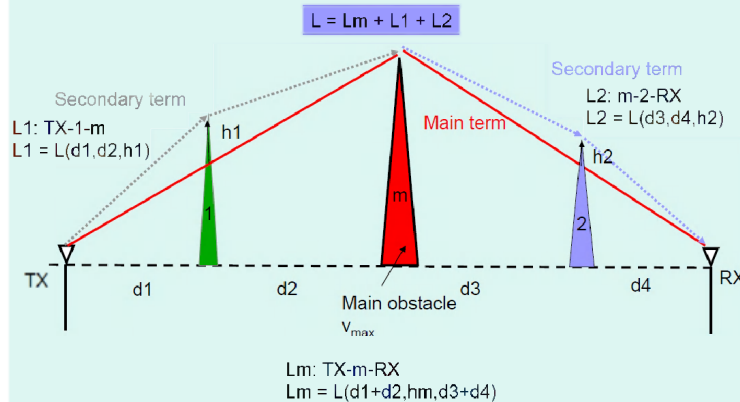


Epstein-Peterson Method



Draw lines-of-sight between relevant obstacles and add the diffraction losses at each obstacle.

Deygout Method - 2



Giovanelli Method

