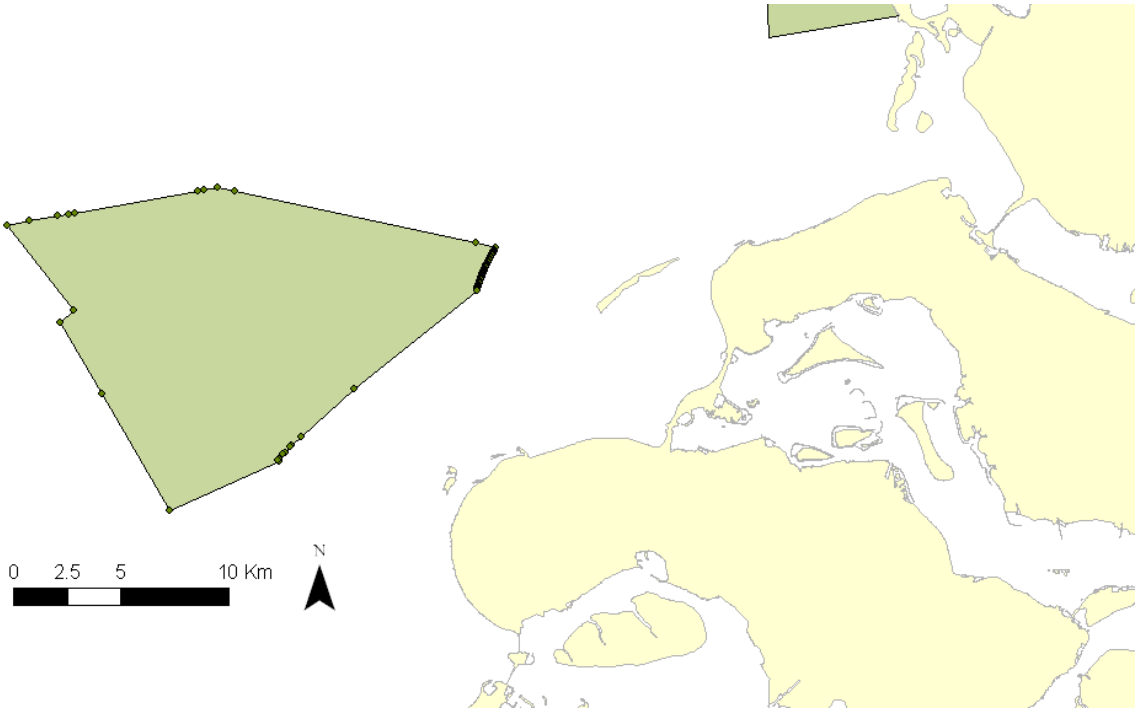
Studie omtrent de mogelijke invloed van een windmolenpark “Wind op Zee - Schouwen” met betrekking tot: de SRK-radarinstallaties de scheepsradar en de marifone communicatie



In opdracht van IenM, NL
in samenwerking met SRK

Prof.dr.ir.J.Catrysse (9/12/2013)

INHOUDSTAFEL

1. Inleiding **7**

2. Actuele gegevens van radar, radiocommunicatie en windturbines **10**

2.1. Radar en radiocommunicatie 14

2.1.1. Gegevens van de SRK radarstations 14

2.1.2. Gegevens van de marifone systemen (AIS en RDF) 15

2.1.3. Gegevens van een typische scheepsradar 15

2.1.4. Gegevens van de VHF radiocommunicatie 16

2.2. Windturbines 19

2.3. Bereik van de SRK radarinstallaties 21

2.4. RCS (Radar Cross Section) van schepen 25

3. Literatuurstudie **26**

4. Overzicht van de als belangrijke geïdentificeerde effecten **26**

4.1. Controle van de zichtbaarheid (LoS) 26

4.2. Mogelijke detectie door zijlobes 26

4.3. Shadowing en mogelijke dode zones 26

4.4. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel) 28

4.5. Meervoudige reflecties en valse echo's 28

4.6. Clutter door veranderende RCS waarden 28

4.7. Effecten van diffractie en multipath propagatie 29

5. Impactanalyse op de SRK walradar **30**

5.1. Controle van de zichtbaarheid en reikwijdte 30

5.1.1. Radar in Westkapelle 36

5.1.2. Radar in Haamstede 40

5.1.3. Radar in Ouddorp 42

5.1.4. Radar SRK Noord (Neeltje Jans) 41

5.1.5. Cumulatieve effecten 44

5.2. Mogelijke detectie door zijlobes 45

5.3. Shadowing en mogelijke dode zones 46

5.4. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel) 48

5.5. Meervoudige reflecties en valse echo's 53

5.6. Clutter door veranderende RCS en reflecties 54

5.7. Hoekafwijking door diffractie en multipath 56

6. Impactanalyse op de scheepsradar **58**
6.1. Controle van de zichtbaarheid en reikwijdte 61
6.2. Mogelijke detectie door zijlobes 64
6.3. Shadowing en mogelijke dode zones 66
6.4. Onvoldoende vrije radiopropagatie (Fresnel) 70
6.5. Meervoudige reflecties en valse echo's 72
6.6. Clutter door veranderende RCS en reflecties 76
6.7. Hoekafwijking door diffractie en multipath 76
6.8. Specifieke praktijksituaties omtrent de scheepsradar 78

7. Impactanalyse op de VHF radiocommunicatie **80**
7.1. Reikwijdte van de VHF systemen 80
7.2. Shadowing, mogelijke dode zones en vrije Fresnel radio-propagatie 84
7.2.1. Communicatie schip/wal 84
7.2.2. Communicatie schip/schip 85
7.3. Effecten van diffractie en multipath 88

8. Impactanalyse op het AIS systeem **89**

9. Impactanalyse op het RDF systeem **90**

Conclusies **95**
C.1. Conclusies omtrent de SRK radarinstallaties 95
C.2. Conclusies omtrent de scheepsradar 98
C.3. Conclusies omtrent de VHF systemen , AIS en RDF 100

Samenvatting (executive summary) **102**

Voorstellen van mitigerende maatregelen **104**

Referenties **105**

Appendix 1: samenvatting literatuuroverzicht **106**
Appendix 2: detail shadowing volgens Fresnel **109**
Appendix 3: verschillende Fresnel modellen **118**
Appendix 4: coördinaten zoekgebied Schouwen **120**
Appendix 5: radar screen shots **121**

Lijst van afkortingen en uitdrukkingen

AIS Automatic Information System, een datacommunicatie systeem voor de scheepvaart, op één van de marifone VHF kanalen. Er wordt op digitale wijze permanente (scheepsnaam, AIS-klasse, type schip, mmsi nr., etc.) en semipermanente (course overground, speed over ground, diepgang, bestemming, navigatie-status, etc.) informatie doorgestuurd.
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

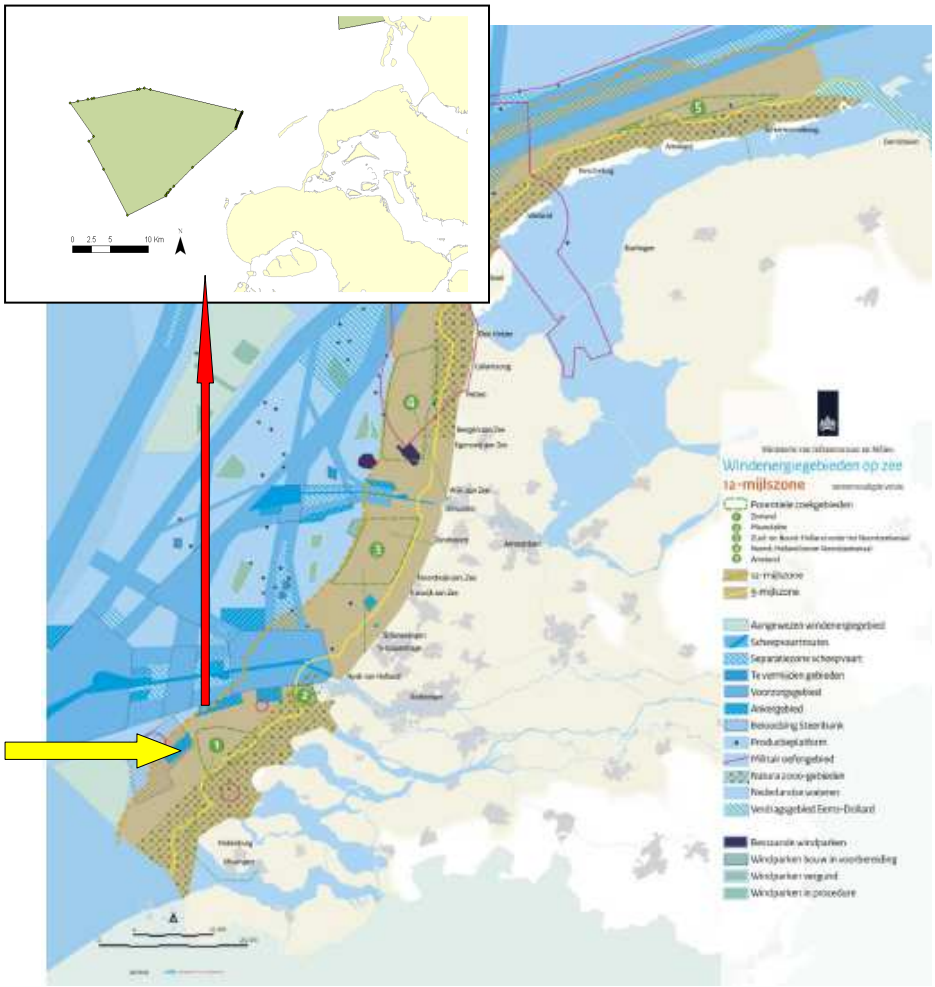
Studie omtrent de mogelijke invloed van een windmolenpark "Wind op Zee - Schouwen" met betrekking tot de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie

1. Inleiding.

In deze studie wordt nagegaan wat de mogelijke invloed is van de inplanting van een windmolenpark in het zoekgebied #1 van het project "Wind op Zee", ter hoogte van Zeeland, verder aangeduid door "Schouwen", met betrekking tot de normale werking van de SRK-radar, de scheepsradar en de verschillende marifone communicatiesystemen. Deze installaties worden beheerd door de Vlaams-Nederlandse instantie "Schelde Radar Keten" of SRK.
Deze studie gebeurt bijgevolg in het kader van Art. 7 van het Radarverdrag van 29 november 1978: ***"Er zullen geen werken worden opgericht die de radaruitzendingen belemmeren of de overdracht van informatie verhinderen".***

Voor deze studie werd voorafgaandelijk overleg gepleegd met de diensten IenM en SRK (Vlissingen –02/09/2013). SRK stelde daarbij ook alle nodige technische informatie omtrent de radarstations en de VHF communicatie ter beschikking. Bij een tweede overlegvergadering (Vlissingen – 30/10/2013) werden de eerste resultaten en conclusies van deze studie (d1) voorgesteld en besproken. De huidige versie ("finaal") van deze studie is het resultaat van dit overleg.

<u>Opmerking</u>: voor de screenshots ter beschikking gesteld door de diensten "Scheepvaartbegeleiding" dient genoteerd te worden dat deze genomen werden bij extreem regenachtig weer, wat een vermindering in reikwijdte inhoudt voor de X-band radars van SRK.

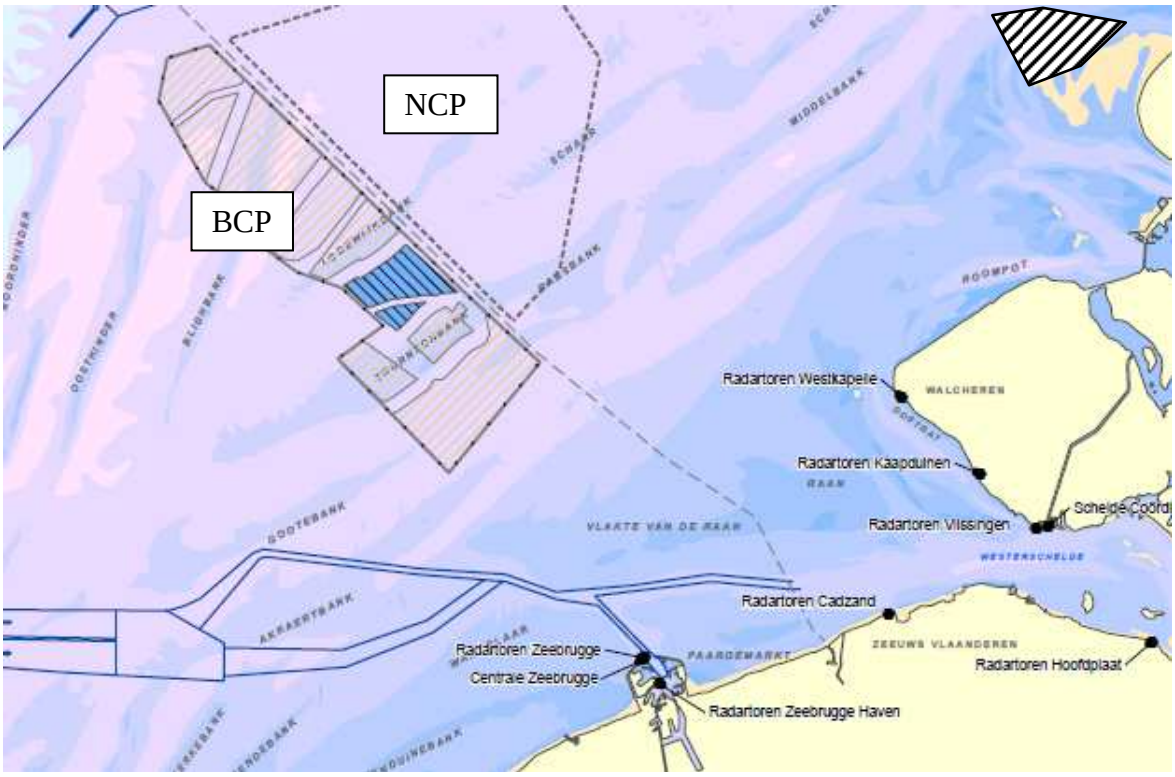


Figuur 1a. Overzichtskaart van de verschillende zoekgebieden tegenover de kustlijn, waarbij het gebied #1 aangegeven is voor kust van Zeeland ("zoekgebied Schouwen")

In deze studie wordt ook rekening gehouden met de bekende concessiegebieden op het BCP en het NCP, waarbij diverse projecten al of niet reeds in uitvoering of uitbating zijn.

Op het BCP zijn dit de volgende bekende projecten:
- 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

Op het NCP is dit het aanliggende projectgebied Borssele

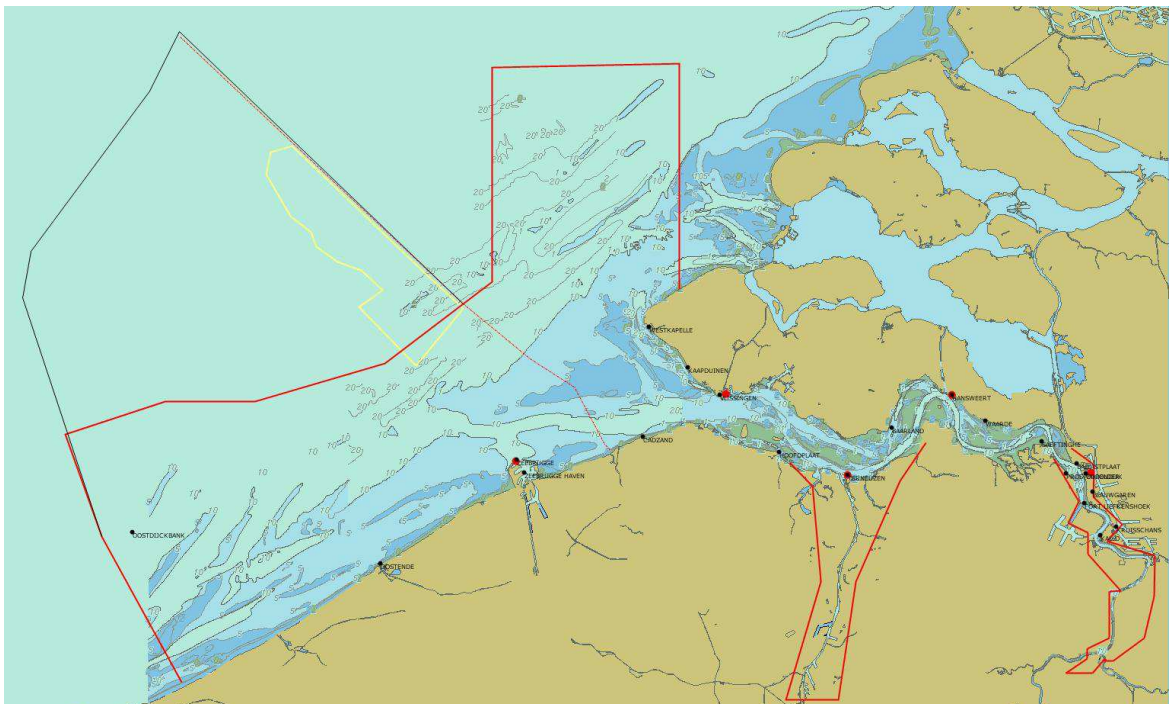


Figuur 1b. Overzichtskaart van de verschillende concessiegebieden tegenover de kustlijn

Op de bovenstaande kaart zijn zowel de Belgische concessies, als het concessiegebied Borssele op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) aangegeven. Dit laatste is net over de grens gelegen, direct aanpalend aan het bekende Belgische concessiegebied.

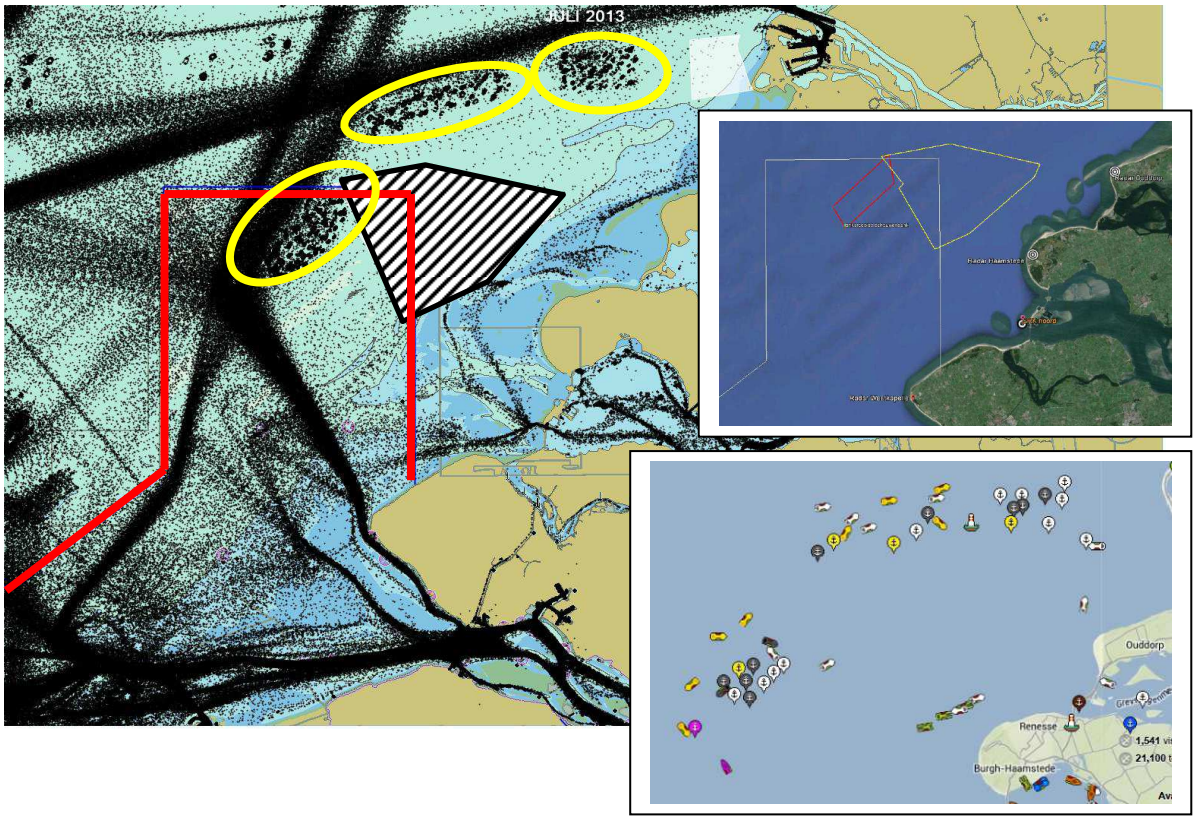
Aansluitend zijn in figuur 1c, de verschillende gebieden van scheepvaartbegeleiding en het Belgische EEZ gebied weergegeven.

Op de kaart van figuur 1b is duidelijk de vaarroute naar Zeebrugge en de Scheldemonding te zien. De scheepvaartroutes naar de verder gelegen havens komen duidelijk voorbij zowel deze Belgische als Nederlandse concessiegebieden.



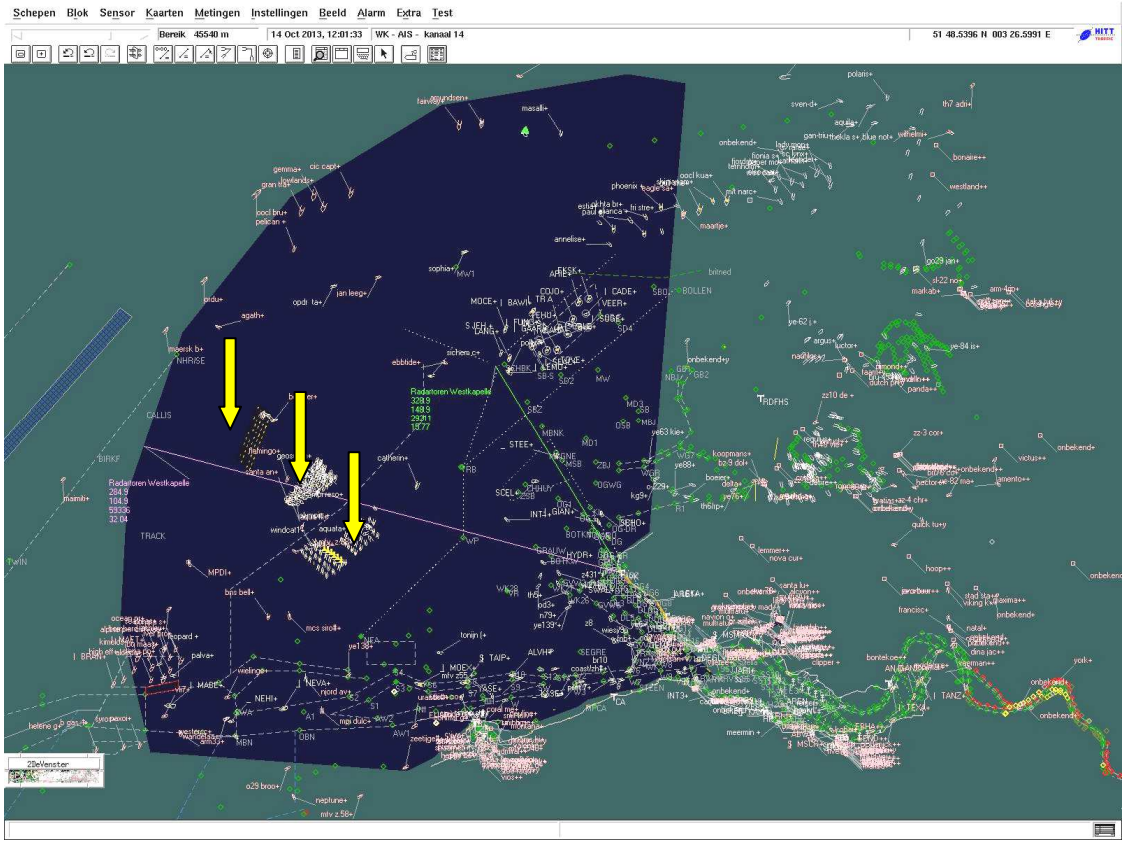
Figuur 1c. Overzichtskaart van de verschillende gebieden (EEZ en SAR, SRK) tegenover de kustlijn

In de figuur 2a wordt het scheepvaartverkeer in het betreffende gebied ter hoogte van Zeeland weergegeven voor de maand juli 2013. Naast het scheepvaartverkeer zelf, zijn daar ook nog de ankergebieden te onderscheiden (geel omlijnd). Het meest westelijke ankergebied, bekend uit het GNB beheersgebied ligt in de nabije omgeving en overlapt zelfs gedeeltelijk met het zoekgebied Schouwen. Het ligt bovendien volledig binnen het officiële werkingsgebied van SRK. De impact op de SRK radars is dan ook voor deze zone duidelijk een belangrijk item. Dat is ook het geval voor de impact op de marineradar voor alle zones.



Figuur 2a. Typisch scheepvaartverkeer voor de maand juli 2013

Figuur 2b is een screenshot-momentopname van de radarinstallatie in Westkapelle, waarop duidelijk de windturbineparken van Belwind, Northwind en C-power te onderscheiden zijn.



Figuur 2b. Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname oktober 2013) voor de SRK radarinstallatie van Westkapelle

Courtesy van "Afdeling Scheepvaartbegeleiding"

Verder zijn duidelijk de verschillende vaarroutes in het gebied van de Scheldemonding te zien. Ook is duidelijk dat de signal processing van de SRK installaties alle informatie van landzijde wegfiltert, en dat mogelijke effecten die zich aan landzijde zouden manifesteren niet van belang zullen zijn. Zie ook annex 5 voor screenshots van alle radars in de omgeving.

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

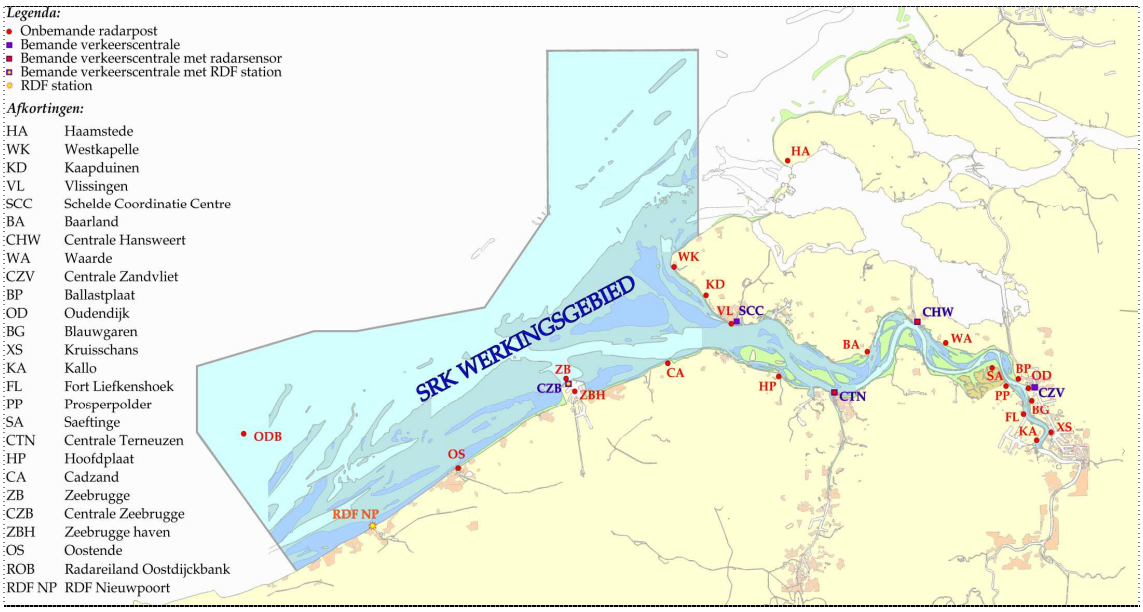
2. Actuele gegevens van radar, radiocommunicatie en windturbines.

Vooreerst dient aangegeven te worden waar het officiële actiegebied van VTS-SRK gelegen is. Dit is het gebied waarin door de diensten van de scheepvaartbegeleiding actieve assistentie wordt verleend aan het scheepvaartverkeer.

Om een en ander duidelijker voor te stellen in het geheel van de problematiek, wordt op de kaart van figuur 3 een overzicht gegeven van:

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

In combinatie met figuur 2a is het dus duidelijk dat een gedeelte van het zoekgebied "Schouwen" binnen de officiële actiegebied van VTS-SRK gelegen is, en dat de ankergebieden relatief dicht tot overlappend bij het gebied "Schouwen" liggen.



Firguur 3. SRK actief werkingsgebied en ligging van de SRK radarstations

Zoals hoger aangegeven (figuren 2), zijn er de verder gelegen scheepvaartroutes, maar anderzijds ook een belangrijk scheepvaartverkeer in de directe omgeving van het gebied Schouwen op zee.

De SRK radars van Westkapelle, Haamstede en Ouddorp kunnen een belangrijk gedeelte van deze trafiek nog volgen, alhoewel dit niet meer volledig tot het “officiële” actiedomein van SRK behoort. Hetzelfde geldt voor de nieuwe radar van SRK Noord (Neeltje Jans).

Afstand in km tot midden van	**Centrum Schouwen**
Oostende	73 km
Zeebrugge	51 km
Cadzand	43 km
Westkapelle	28 km
SRK N - Neeltje Jans (in uitvoering)	20 km
Haamstede	14 km
Oud Dorp	23 km

Tabel 1. Afstand van SRK radarstations tot middelpunt van het gebied Schouwen

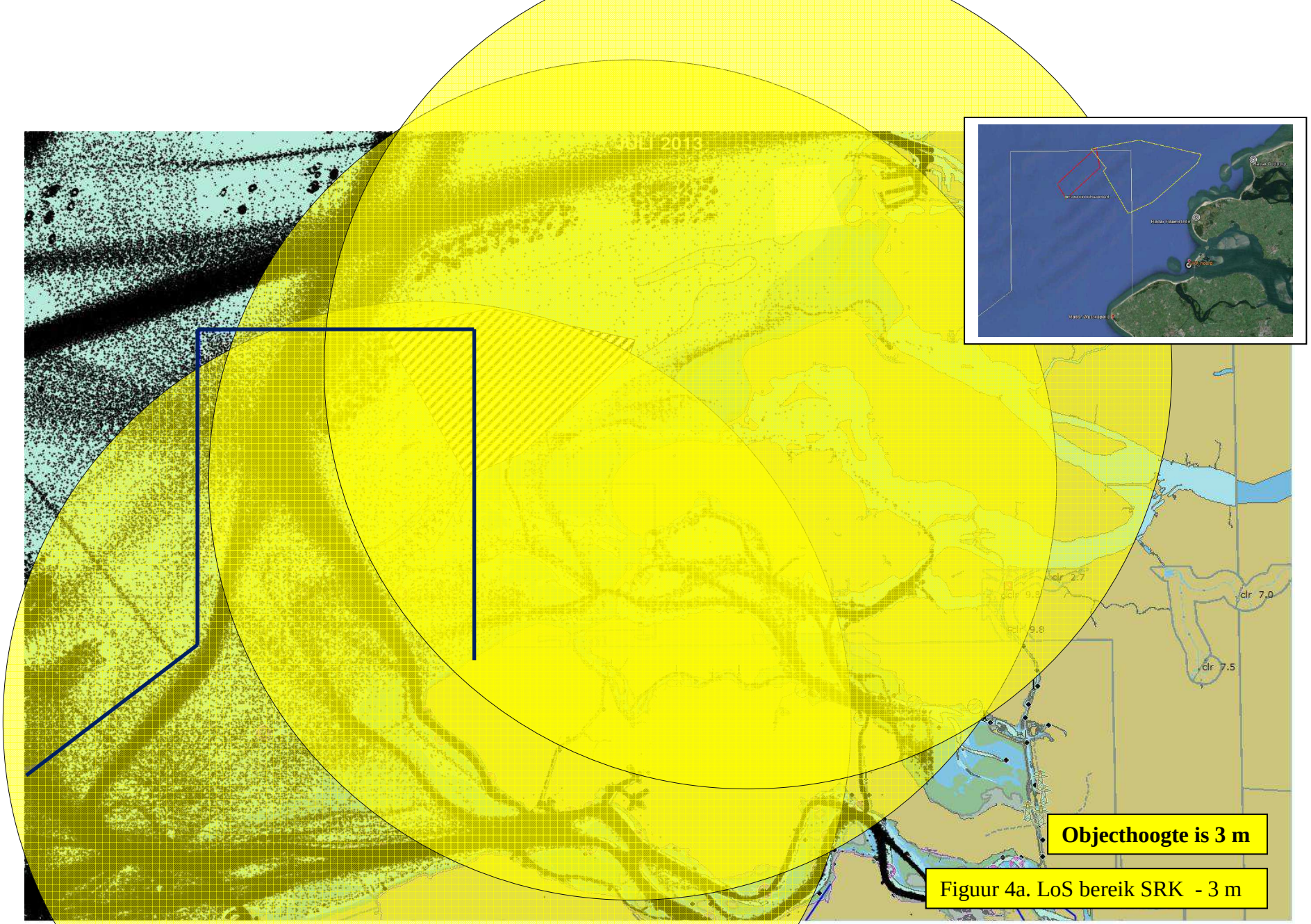
Bovenstaande tabel geeft de afstand van de verschillende radarstations van SRK tot het midden van het zoekgebied Schouwen.

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)
- AIS (Automatic Information System)
-

In de figuren 4 wordt een overzicht gegeven van het bereik van de SRK radarstations bij de kleinste effectieve hoogte van 3 m 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.



Figuur 4a. LoS bereik SRK - 3 m

Objecthoogte is 3 m

Figuur 4b. LoS bereik SRK - 3 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 en 4 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 Westkapelle, Haamstede en Ouddorp, zoals blijkt uit de afstanden tussen de radarstations en het zoekgebied "Schouwen" in tabel 1.
Het zoekgebied "Schouwen" zelf valt binnen de feitelijke waarnemingszones van de SRK radarstations van Westkapelle, Haamstede en Ouddorp, en in de toekomst ook van SRK Noord (Neeltje Jans).

Alhoewel de betreffende zone slechts gedeeltelijk binnen het officiële actieve werkingsgebied van VTS-SM en VTS-VK valt (zie figuur 3), wordt het scheepvaartverkeer op de grote vaarroutes, toch nog (gedeeltelijk) opgevolgd door de radarposten van Zeebrugge, Oostende, Cadzand, Westkapelle, Haamstede en Ouddorp.

Voor de andere marifone systemen, dient telkens een analyse van het toepassingsgebied gemaakt te worden. Toch kan op voorhand gesteld worden dat het effectieve bereik van deze installaties op zowat 42 km dient geschat te worden, gegeven de hoogte van de antenne-masten en de kromming van de aarde (zie verder §2.3).

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

Locatie		LAT LON (grad/min/sec) WGS84		Hoogte (m)	ref.	Zend-/Ontvang frequentie (MHz)	PRF (Hz) ± 10%	Pulslengte (ns)	Min. piekvermogen (kW)	Gevoeligheid ontvanger (dBm)	Tangentiële bundelbreedte -3 dB	Tangentiële bundelbreedte -20 dB	Vertikale bundelbreedte -3 dB	Vertikale bundelbreedte -10 dB	Gain (dB)	Polarisatie	Antenne type
Nederland																	
Westkapelle	**WK**	51 31 21,04800	3 26 27,61800	44,1	NAP	9.170	1.998	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35	vertikaal	CHL S38
Cadzand	**CA**	51 23 19,95600	3 25 35,11800	30,5	NAP	9.170	1.998	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35	vertikaal	CHL S38
Haamstede	**HA**	51 42 31,54	3 41 28,56	58,0	NAP	9.375	2.411	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35		Terma 18" HP-F-35
Ouddorp	**OP**	51 48 47,58	3 51 50,50	56,0	NAP	9.375	2.299	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35		Terma 18" HP-F-35
België																	
Oostende	**OS**	51 14 15,27000	2 55 28,12200	39,8	NAP	9.170	2.001	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35	vertikaal	CHL S38
Zeebrugge	**ZB**	51 21 44,22600	3 11 10,90200	39,2	NAP	9.170	1.998	200	25	-99	0,265°	0,770°	15°	33°	35	vertikaal	CHL S38
Oostdyckbank	**OB**	51 16 29,65833	2 26 50,79445	37,0	GLLS	9.375	2.204 1.503	200 600	25	-99	0,270°	0,750°	15°	---	37	vertikaal	CHL S38
Gepland																	
(BE) Oostende oostelijke strekdam - 2013	OS	51 14 37,878	2 55 16,595	60,8	NAP	9.170	2.001	200	25	-99	0,265	0,77	15	33	35	vertikaal	CHL S38
(NL) Neeltje Jans - 2015	**NJ**	51 37 26,051	3 40 14,284	113,0	NAP												chl 44dB gain

Tabel 2. Gegevens van de SRK radarstations

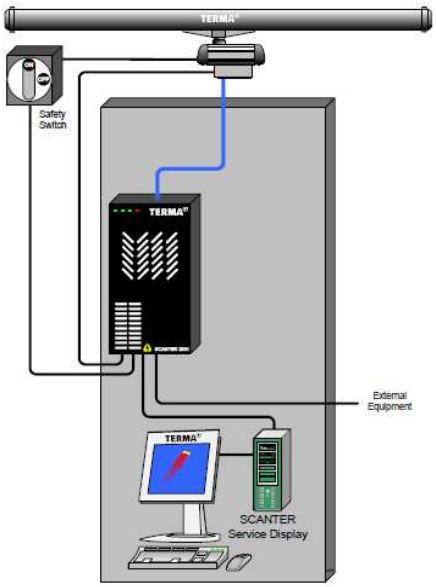
Hierbij dient genoteerd te worden dat, specifiek met betrekking tot het zoekgebied "Schouwen", in de nabije toekomst de volgende wijziging en uitbreiding zal gebeuren:

Radarstation SRK Noord "Neeltje Jans": nieuw radarstation in uitvoering, op de positie 546424.45 E 5719422.69 N (UTM31) met een vermoedelijke hoogte van 113 m, en een antenne 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.

Bij een pulslengte van 200 nsec is een bandbreedte van 8 MHz nodig, waardoor de ruis (noise floor) – 99 dBm of – 129 dBW bedraagt.



	X-band	X-band Low power
Modulator	High Power	Low Power
Pulse width, range	50-1000 ns	50-300 ns
Nominal Magnetron Peak Power	25 kW	4 kW
Peak Power over magnetron lifetime	20 kW +2/-1dB	3.0 kW +2/-1dB
Standard TX frequency [MHz]	9375 ±30	9410 ±30
Alternative TX frequency [MHz]	9170 ±30 9410 ±30 9438 ±25 9438 ±25 9490 ±30	9375 ±30

Application	Pulse	PW	PRF	IF BW
All except airport SMR	Short Pulse (SP)	50-120 ns	800-8000 Hz	20 MHz
	Medium Pulse (MP)	120-300 ns	600-3300 Hz	8 MHz
	Long Pulse (LP)	300-600 ns	400-2200 Hz	3 MHz
	Very Long Pulse (VLP)	600-1000 ns	400-1200 Hz	3 MHz

BW	Noise Floor	Tangential Meas.
3 MHz	–103 dBm	-97 dBm
8 MHz	–99 dBm	-93 dBm
20 MHz	–95 dBm	-89dBm
50 MHz	–91 dBm	-85 dBm

The Sea Clutter Discriminator is available for stationary applications, such as Coastal Surveillance and will provide additional clutter filtering, especially efficient towards detection of very small craft, such as rubber boats and especially efficient at high sea states

Processing channels	3 (single scan, 2 scan correlation and 3 scan correlation)
Clutter thresholds	individually programmable for each channel
Resolution	
Number of cells	32 M
Azimuth resolution	2, 4 or 8 K programmable
Range resolution	2, 4 or 8 K programmable
Data rate	10, 20 or 40 MHz, following the VP 3 setting

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

Fax: +32 (0) 3120 9961

Locaties Nederland		VHF Transmitter (W)	Type transponder	Receiver
Radar Westkapelle	AIS	12	B5400	-107dBm
Radar Ouddorp	AIS	12	B5500	-107dBm

RDF

		Radio Direction Finder	Digital Frequency Converter
Locaties Belgie			
Zeebrugge	RDF	X	X
Locaties Nederland			
Haamstede	RDF	X	-

Tabel 3. Gegevens van de RDF Direction Finders en AIS

Er is nog een ‘stand alone’ RDF station in Ouddorp, dat niet in het SRK netwerk is ingekoppeld, maar toch van groot belang is voor de peilrichting in geval van dringende reddingsoperaties.

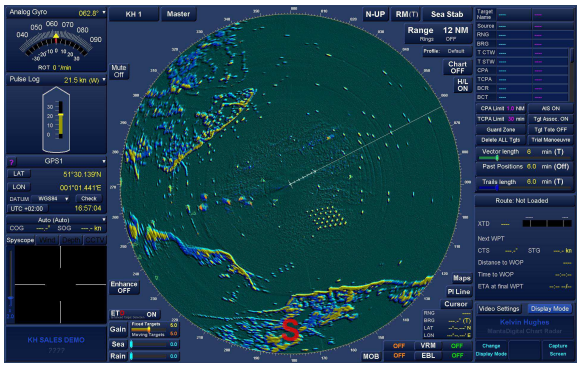
2.1.3. Typische gegevens van een scheepsradar

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).



2.1.4. Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TX/RX	Antenne-vermogen (ERP dbm)	Antenne Gain (dB)	Demping splitter	externe demping	Kabel demping	Zender-vermogen (dbm)	Vermogen uit kast (dbm)	Antenne kabel lengte (m)	Gevoeligheid ontvanger (dbm)	Richting hoofdas antenne	Openings hoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werkings gebied	Opmerkingen
België																		
Vuurtoren Oostende	4	160,800	TX	44,0	8	4,00	0,00	0,99	40,99	36,99	66,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	6	156,300	TX	44,0	8	4,00	0,00	0,99	40,99	36,99	66,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	8	156,400	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	67,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	60	160,625	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,01	41,01	37,01	67,00	nvt	290°	62°	K 52 32 21	60	ZB1	
	65	160,875	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	68,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
	93H	162,275	TX	44,0	8	4,00	0,00	1,02	41,02	37,02	68,00	nvt	305°	62°	K 52 32 21	60	ZB2,ZB1	
Vuurtoren Oostende	16	156,800	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
MRCC	67L	156,375	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
Radartoren Oostende	4	156,200	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	60	156,025	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB1	
	65	156,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
	93H	162,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	0,62	nvt	nvt	15,00	-113,00	305°	170°	K 53 19 21	35	ZB2,ZB1	
Radartoren Oostende	16	156,800	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
MRCC	67L	156,375	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
Radartoren Zeebruggehaven	4	160,800	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3	
	6	156,300	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3,ZB4	
	8	156,400	TX	40,4	8	7,50	0,00	0,75	40,65	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	50	ZB3,ZB4	
	19	161,550	TX	20,0	3	4,00	20,00	0,59	41,59	17,59	39,00	nvt	160°	170°	K 53 19 21	20	ZB4	
	69	156,475	TX	41,8	8	4,00	0,00	0,75	38,55	34,55	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	46	ZB3	
	71	156,575	TX	20,0	3	4,00	20,00	0,59	41,59	17,59	39,00	nvt	160°	170°	K 53 19 21	20	ZB4	
	93H	162,275	TX	40,4	8	4,00	0,00	0,75	37,15	33,15	50,00	nvt	330°	62°	K 52 32 21	46	ZB3	
Radarcentrale Zeebrugge	4	156,200	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3,ZB4	
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3,ZB4	
	9	156,450	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	130°	170°	K 53 19 21	15	ZB4	
	19	156,950	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-89,00	130°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	68	156,425	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-113,00	130°	170°	K 53 19 21	31	ZB3	
	69	156,475	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-110,80	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3	
	71	156,575	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-89,00	130°	170°	K 53 19 21	15	ZB4	
	93H	162,275	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,39	nvt	nvt	33,80	-109,40	330°	170°	K 53 19 21	15	ZB3	
Brug Zelzate	6	156,300	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	8	156,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-113,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	10	156,500	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	11	156,950	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	-106,00	200°	63°	K 52 07 21	25	GT1	
Gent DAB Loodswezen	10	156,500	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
	11	156,550	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
	67	156,375	TX	23,00	8	7,50	20,00	2,13	44,63	17,13	52,00	nvt	15°	63°	K 52 07 21	20	GT1	
Fort Liefkenshoek	66	160,925	TX	44,00	8	1,00	0,00	0,60	37,60	36,60	14,70	nvt	125°	62°	K 52 32 21	18	ZV4	
		156,325	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,60	nvt	nvt	14,70	-113,00	125°	62°	K 52 32 21	18	ZV4	
Prosperpolder	4	160,800	TX	30,00	4	1,00	10,00	0,62	37,62	26,62	15,00	nvt	80°	170°	K 53 18 21	12	ZV3	
		156,200	RX	nvt	4	nvt	nvt	0,62	nvt		15,00	-113,00	80°	170°	K 53 18 21	12	ZV3	
Beluchtingsgebouw Waasland	10	156,500	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,49	nvt	nvt	12,00	-110,80	210°	63°	K 52 07 21	35	WT1	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,49	nvt	nvt	12,00	-110,80	210°	63°	K 52 07 21	35	WT1	
Sluis wintam	6	156,300	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
	8	156,400	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	bestaand	Aankoppeling
	10	156,500	TX	41,80	8	4,00	0,00	3,10	40,90	36,90	75,50	nvt	20°	63°	K 52 07 21	25	WT1	
	67	156,375	TX	41,80	8	4,00	0,00	3,10	40,90	36,90	75,50	nvt	20°	63°	K 52 07 21	25	WT1	
Kruisschans	6	156,300	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	8	156,400	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	12	156,600	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	67	156,375	TX	40,00	8	10,50	0,00	1,99	44,49	36,99	48,50	nvt	150° - 320°	63°	K 52 07 21	35	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
Radarcentrale Zandvliet	6	156,300	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	8	156,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	12	156,600	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,18	nvt	nvt	28,80	-109,00	150° - 290°	63°	K 52 07 21	40	ZV1,ZV2,ZV3,ZV4	

Locatie	Kanaal nr.	Frequentie (MHz)	TX/RX	Antenne-vermogen (ERP dbm)	Antenne Gain (dB)	Demping splitter	externe demping	Kabel demping	Zender-vermogen (dbm)	Vermogen uit kast (dbm)	Antennekabel lengte (M)	Gevoeligheid ontvanger (µV)	Richting hoofdas antenne	Openings hoek horizontaal	Type antenne	Hoogte (m)	Werkings gebied	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	VL1	
	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	VL1	
	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	VL1	
	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	VL1	
Radartoren Westkapelle	6	156,300	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	8	156,400	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	9	156,450	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	16	156,800	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-113,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	29L	157,450	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	64	156,225	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
	67	156,375	RX	nvt	8	nvt	nvt	0,63	nvt	nvt	15,30	-110,00	330°	170°	K 52 32 21	40	VL1	
Sluis Vlissingen	18	156,900	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
	18	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
Toren goes	37L	157,850	RX/TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
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	VL2	ist 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	VL2	ist 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	VL2	ist 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	VL2	
	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	VL2	
	70H	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	VL2	
Radarcentrale Vlissingen	NAVTEX	0,518	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	1,52	nvt	nvt	37,00	nvt	omni		AAC 1	NVT	NVT.	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	VL2	
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	VL2	
	9	156,450	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,78	nvt	nvt	43,50	-113,00	120°	170°	K 53 19 21	35	VL2,VL3	
	14	156,700	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	39	VL2	
	16	156,800	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,91	nvt	nvt	46,50	-113,00	200°	170°	K 53 19 21	39	VL2	
	21	157,050	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	VL2	
	29L	157,450	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	VL2	
	40L	158,000	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	VL2	
	67	156,375	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	VL2	
	70H	161,125	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,75	nvt	nvt	42,50	-107,00	200°	170°	K 53 19 21	38	VL2	
Radar centrale Terneuzen	3	156,150	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1	
	6	156,300	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-113,00	0°- 180°		zie opmerking	23	TN1,TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	8	156,400	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-113,00	0°- 180°		zie opmerking	23	TN1,TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	11	156,550	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-103,00	180°	63°	K 52 07 21	23	TN2	
	14	156,700	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1	
	67	156,375	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,31	nvt	nvt	32,00	-106,00	0°- 180°		zie opmerking	23	TN1,TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70H	161,125	RX	nvt	3	nvt	nvt	1,11	nvt	nvt	27,00	-106,00	0°	170°	K 53 19 21	23	TN1	
Terneuzen Silo August de Meijer	3	160,750	TX	23,0	3	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	20,0	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	23,0	3	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	23,0	8	4,00	20,00	3,73	42,73	18,73	91,00	nvt	0°- 180°	78	zie opmerking	40	TN1,TN2	K 52 07 21 180° EN K 53 19 21 0°
	70H	161,125	TX	23,0	3	7,50	10,00	3,73	41,23	23,73	91,00	nvt	0°	170°	K 53 19 21	40	TN1	
Sluis Terneuzen	18	156,900	RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
	18	161,500	TX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
	69	156,475	RX/RX	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	Bestaand	Aankoppeling sluiskanaal
Centrale Hansweert	6	156,300	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-113,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
	8	156,400	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-113,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
	12	156,600	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
	65	156,275	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
	67	156,375	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
	70H	161,125	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,05	nvt	nvt	25,50	-106,00	245°	118°	K 53 18 21	23	HW1	
Centrale Sluis Organisatie Hansweert	12	156,600	TX	23,0	3	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1	
	65	160,875	TX	23,0	3	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	23,0	3	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1	
	70H	161,125	TX	23,0	3	7,50	20,00	1,27	48,77	21,27	31,00	nvt	225°	170°	K 53 19 21	23	HW1	
Radartoren Waarde	19	156,950	RX	nvt	4	nvt	nvt	1,67	nvt	nvt	40,80	-106,00	215°	118°	K 53 18 21	25	ZV1	
	19	161,550	TX	23,0	4	1,00	20,00	1,67	41,67	20,67	40,80	nvt	215°	118°	K 53 18 21	25	ZV1	
	21	157,050	RX	nvt	8	nvt	nvt	1,76	nvt	nvt	43,00	-107,80	125°	62°	K 52 32 21	25	ZV2	
	21	161,650	TX	24,8	8	1,00	20,00	1,76	39,56	18,56	43,00	nvt	125°	62°	K 52 32 21	25	ZV2	

Tabel 4. Gegevens van de marifone radiocommunicatie kanalen

Er dient verder nog genoteerd dat er een VHF duplex kanaal (25) is, met een co-channeling tussen de stations van Haamstede en Ouddorp.

2.2. Windturbines.

Op het ogenblik van deze studie is het merk en type van windturbine dat zal geplaatst worden in het zoekgebied “Schouwen” niet bekend. Toch kan ervan uitgegaan worden dat de windturbine ongeveer de volgende kenmerken zal hebben, waarbij een tendens te merken is naar een lagere masthoogte met grote rotordiameter.

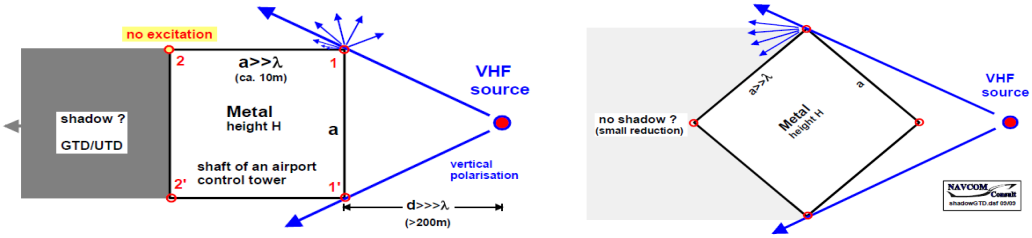
- voorbeeld type WT:	REpower 6M	Vestas V164	Clipper Brittania	generiek type
- masthoogte:	100 m (6 MW)	120 m (7 MW)	110 m (10 MW)	85 m (5 MW)
- mastdiameter voet:	10 m (6 MW)	10 m (7 MW)	10 m (10 MW)	8 m (5MW)
- mastdiameter top:	5 m (6 MW)	6 m (7 MW)	8 m (10 MW)	6 m (5MW)
- rotordiameter:	126 m (6 MW)	164 m (7 MW)	150 m (10 MW)	126 m (5 MW)
- gondel:	15 x 6 x 5 m (vermoedelijke afmetingen)			
- wieken:	kunststofmateriaal, met interne bliksemafleider			

- typische afstand tussen twee windturbines is 5 à 6 maal de rotordiameter

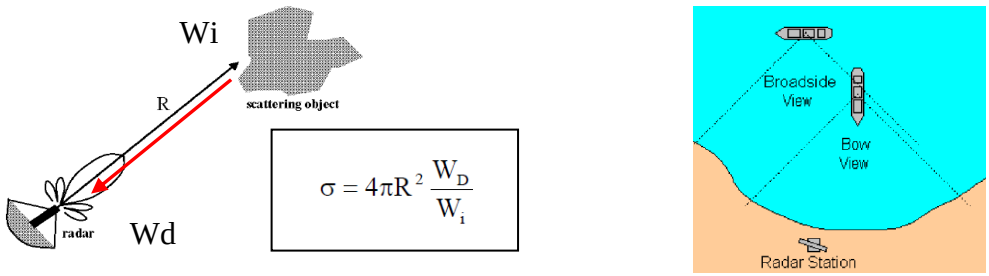
Uit voorgaande studies voor SRK blijkt dat voor dergelijke grote windturbines de mast de dominante factor vormt bij marifone systemen. Dit komt door het feit dat de verschillende radio-systemen in de zeevaart steeds een radiopad volgen tegen het aardoppervlak. Zodat zowel de gondel als de wieken een beduidend kleinere “effectieve” radar/radio doorsnede (RCS of ook Radar Cross Section) uitmaken dan de mast zelf.
Uit deze studies en beschikbare literatuur omtrent de mogelijke invloed op radarsystemen, blijkt dat de mast een dominant effect van minstens 10 à 15 dB voorstelt [*Rashid 2007*].
Toch dient het effect van de rotor meegenomen te worden als een soort “clutter”, door de wisselende reflectie in functie van zowel de pitch en yaw, en de ogenblikkelijke positie van de ronddraaiende rotor, zeker bij de trend van een lagere masthoogte voor offshore windparken, en waarbij ook de “tipdiepte” van de rotor dichter bij het zeeoppervlak terecht komt.

Gegeven de -3 dB openingshoek van de radarbundel en de afstand tussen de radarstations en het zoekgebied “Schouwen”, zal de keuze van de windturbine geen wezenlijk verschil uitmaken naar de mogelijke impact op de radarsystemen. De turbinemasten worden namelijk tijdens de rotatie van de radarbundel, voldoende lange tijd volledig door de bundel bestraald (diameter mast << bundelbreedte radar), zodat zonder meer het diffractiemodel kan toegepast worden. In de onderstaande figuur 5a wordt daarbij ook het verschil aangegeven van een vlakke structuur en een opstelling waarbij de schaduwzone achter het object beperkt wordt. Dit laatste kan gezien worden als een eenvoudig model van een circulaire doorsnede.

De reflectie door een object wordt gegeven door de “effectieve oppervlakte” σ (Radar Cross Section of kortweg RCS) van het object te definiëren die het invallende signaal terugkaatst. Dit verschijnsel wordt geschetst in figuur 5b, voor een verschillende oriëntatie van een schip.



Figuur 5a. Schematische voorstelling van de diffractie eigenschappen van sommige structuren



Figuur 5b. Schematische voorstelling van de reflecterende eigenschappen van een structuur (RCS)

Verder zal de radarbundel van de SRK radarstations ook in de hoogte de rotor bestrijken. Dit zal een wisselende waarde voor de RCS van de windturbines tot gevolg hebben, die zich als een vorm van ‘clutter’ kan manifesteren.

Heel wat studies en gegevens zijn bekend voor de radartoepassingen in de luchtvaart (ATC) in de frequentieband S-band (3 GHz). Een aantal studies (o.a. uitgevoerd door Qinetiq, Navcom en EADS/Cassidian), en gebaseerd op zowel simulaties als metingen in de praktijk (weliswaar op slechts een paar types windturbines), geven een gemiddelde waarde voor dit frequentiegebied en worden bij wijze van voorbeeld hieronder aangegeven.

Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de RCS waarde daarbij erg afhankelijk is van zowel de pitch als de yaw van de windturbine met betrekking tot de invallende radarsignalen.

Een typisch voorbeeld uit een Qinetiq studie [*Poupart 2003*] wordt gegeven in de volgende figuur, waarbij ook nog duidelijk is dat de RCS varieert in functie van de tijd (of dus het ronddraaien van turbinebladen).

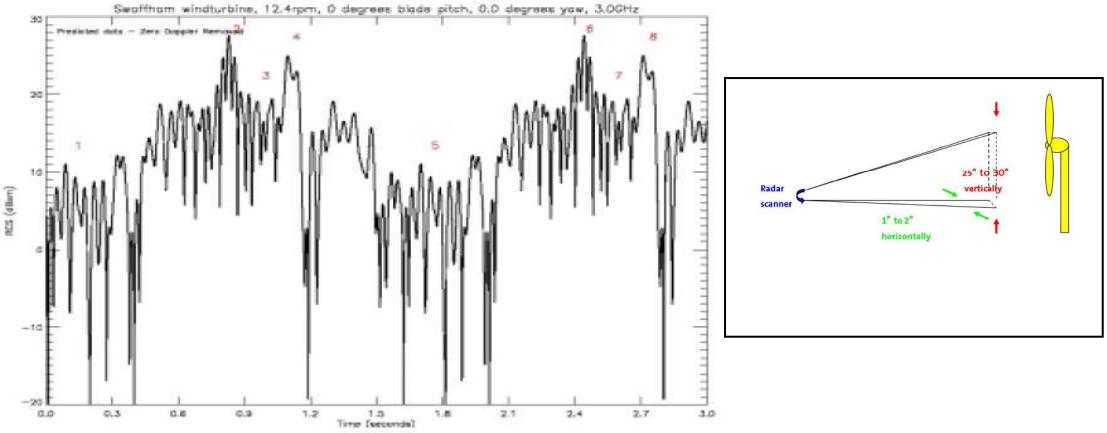


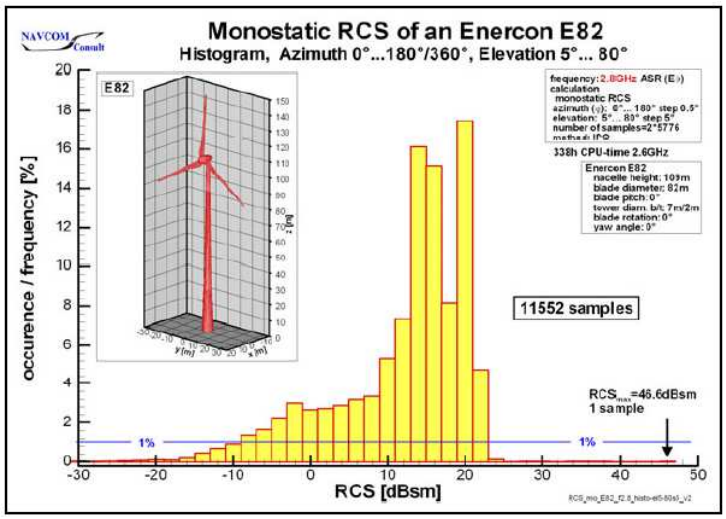
Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

Figuur 6. Voorbeeld van de wisselende RCS waarden van een windturbine bij draaiende rotor

[*Poupart 2003*]

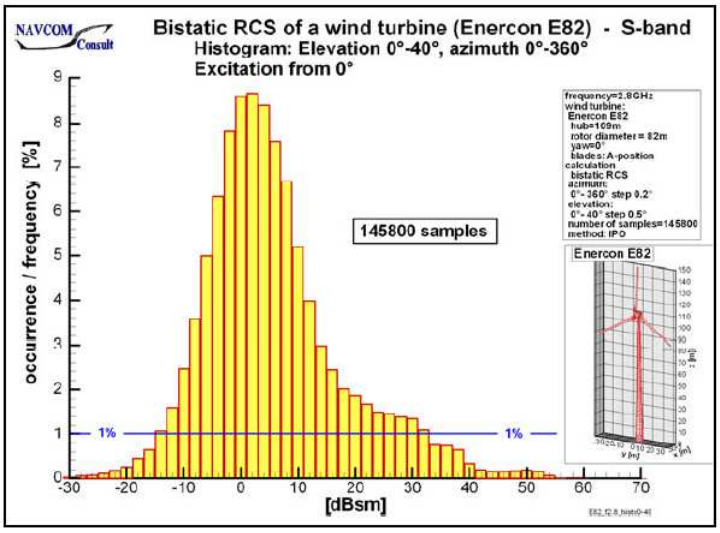
Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat de voorgestelde windturbines een conische mast hebben, waarvan de RCS als eerder klein mag beschouwd worden, en dat in tegenstelling tot een cilindrische vorm met een aanzienlijke RCS *(zie literatuur in referentie).*

Een gelijkaardige studie werd gedaan voor een Enercon E82 door Navcom [*Greving 2007*]



Figuur 7a. Distributie van de monostatische RCS voor een windturbine

[*Greving 2007*]



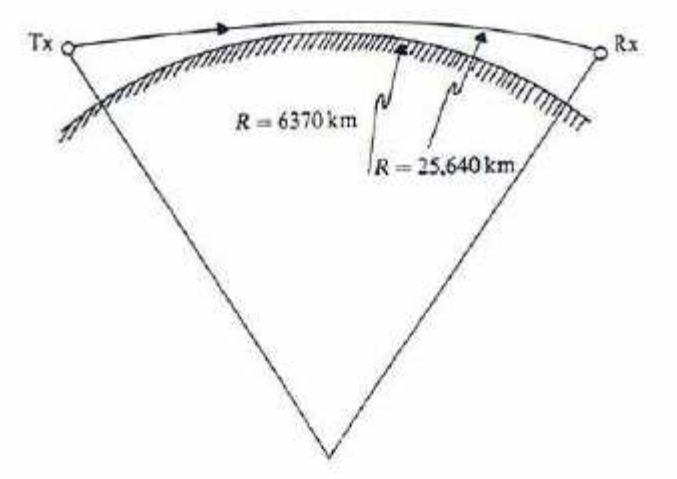
Figuur 7b. Distributie van de bistatische RCS voor een windturbine

[*Greving 2007*]

Verder kan gesteld worden dat in het frequentiegebied X-band (rond 10 GHz), een windturbine een gemiddelde RCS zal hebben die tussen 20 dBsqm (of dus 100 m^2) en 30 dBsqm (of dus 1000 m^2), en met mogelijke korte piekwaarden tot 40 en zelfs 50 dBsqm (10000 m² tot 100000 m²) voor de monostatische RCS en met een gemiddelde tot 20 dBsqm (100 m²) voor de bistatische RCS.

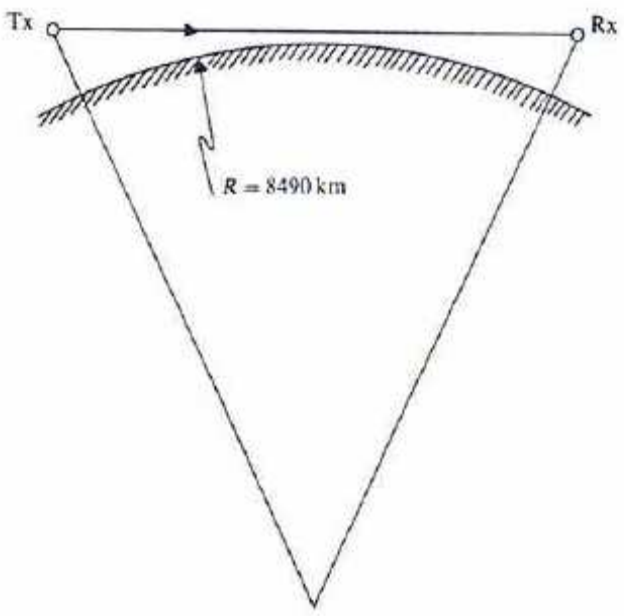
2.3. Bereik van de SRK radar

Omdat de radarantennes voor de waarneming van het scheepvaartverkeer op de horizon gericht zijn, dient dus rekening gehouden met de kromming van het aardoppervlak. Daarenboven dient ook rekening gehouden met het feit dat onder deze omstandigheden een radiosignaal zich niet in rechte lijn voortplant, maar lichtjes afgebogen wordt door de effecten van de troposfeer. In de literatuur wordt een model met een 'standaard lineaire atmosfeer' gebruikt, wat een gebogen radiovoortplanting geeft met een straal van 25640 km.



Figuur 8a. 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 8a/b schematisch weergegeven.



Figuur 8b. 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

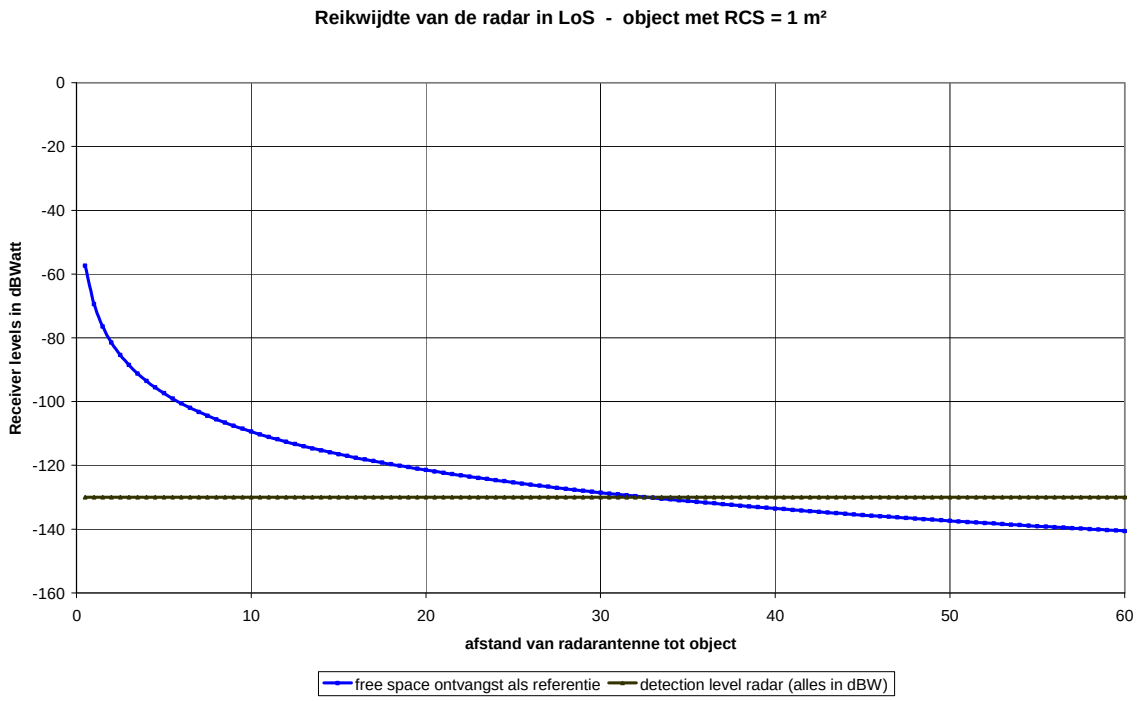
Tabel 5. Theoretische reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

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

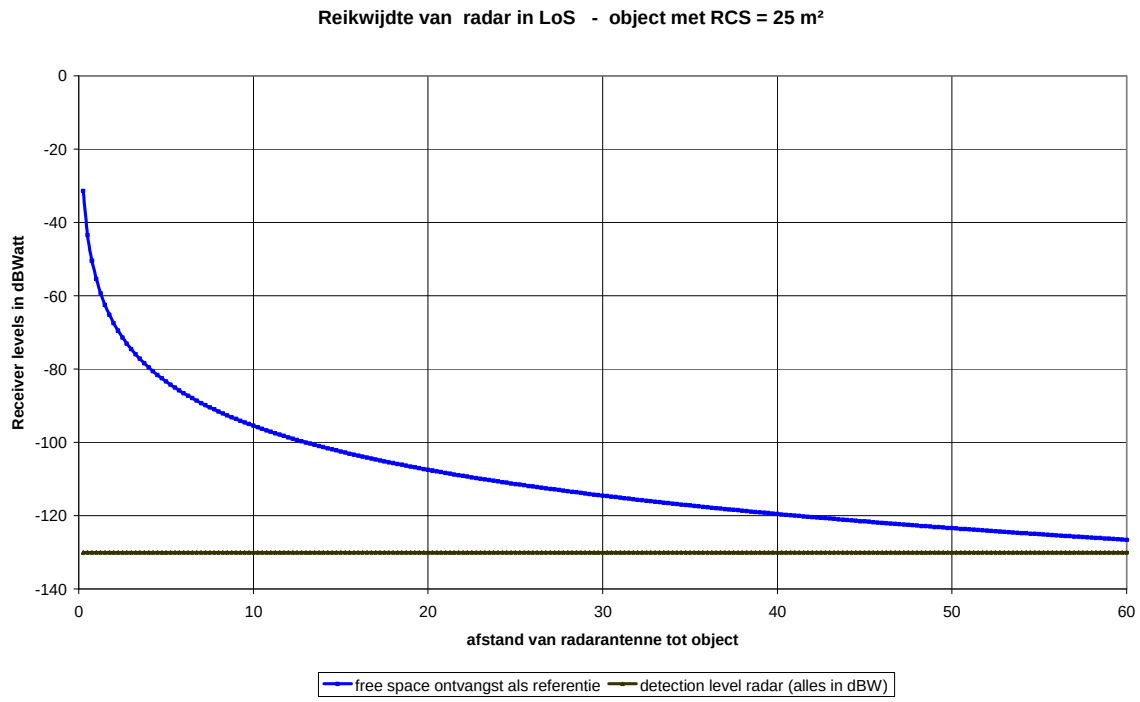
- piekvermogen van de radar: 25 kWatt
- gain van de antenne: 35 dBi
- pulsduur van het signaal: 200 nsec
- bijhorende IF bandbreedte: 8 MHz
- noise floor van de ontvanger: - 129 dBW (-99 dBm)

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, en waarbij de RCS van een windturbine typisch rond 250 m² (23 dBsqm) dient ingeschat te worden. Hierbij kan opgemerkt worden dat een RCS waarde van 25 m² een referentie is die bij SRK gebruikt wordt als snelle toets voor de evaluatie van de systemen. De reikwijdtes bij een objecthoogte van 3 m werden reeds grafisch voorgesteld op de kaarten van figuur 4.

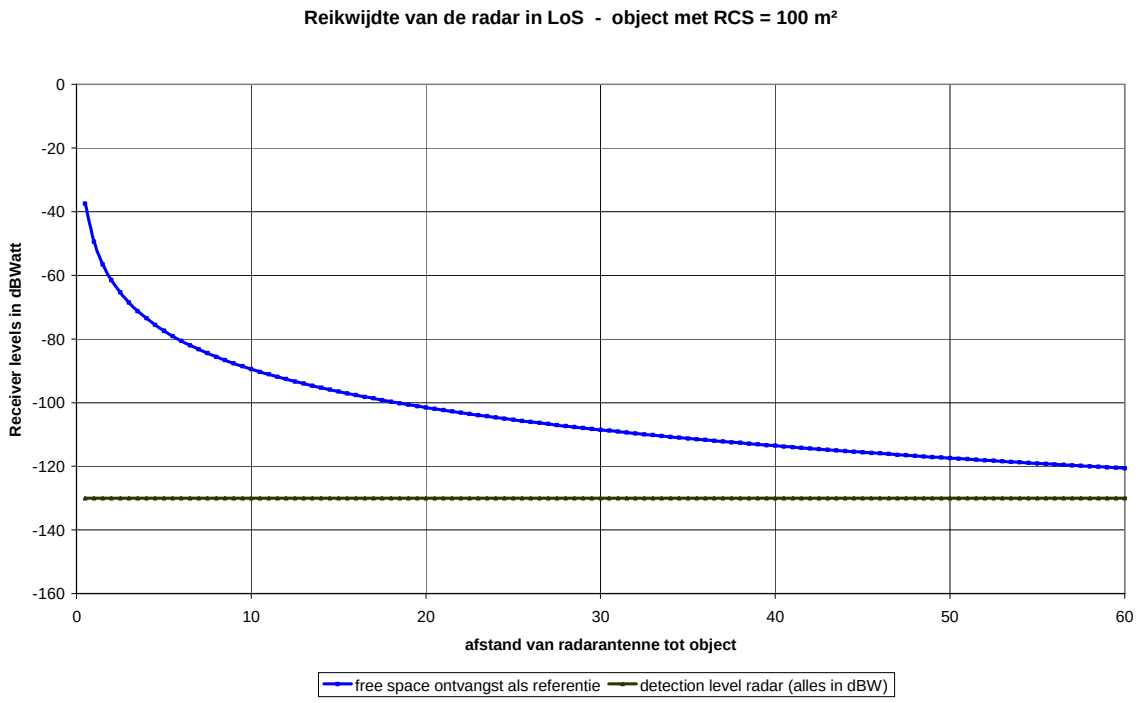
Een trihedral hoekreflector kan ingeschat worden op een RCS van 100 m² en bij een zeer groot containerschip of cruiseschip kan de RCS zelfs oplopen tot 10 000 m² wanneer de zijkant naar de radar gekeerd is. Zie ook sectie §2.4. voor typische RCS waarden van enkele schepen.



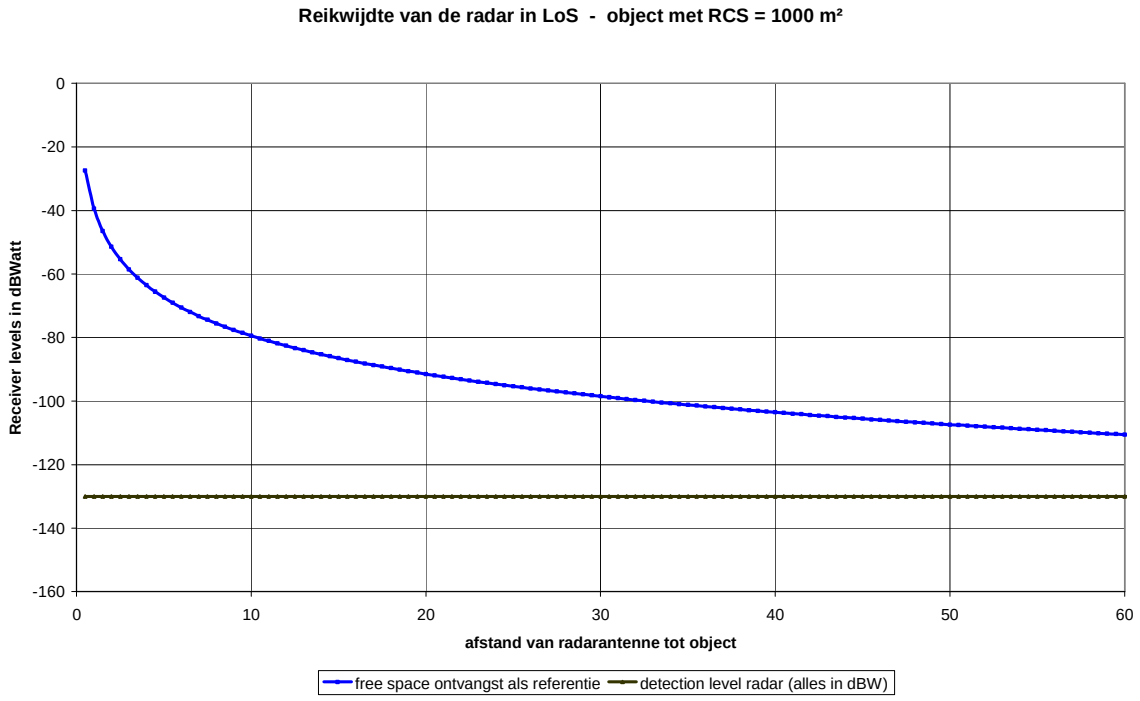
Figuur 9a. Reikwijdte bij een RCS van 1 m²



Figuur 9b. Reikwijdte bij een RCS van 25 m²



Figuur 9c. Reikwijdte bij een RCS van 100 m²



Figuur 9d. 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 de windturbineparken (masthoogte van de windturbines is gemiddeld 100 m en een tiphoogte van 150 m, met een RCS van 100 m² - figuur 9c) tot op een afstand van zowat 70 km waarneembaar blijven.

De geometrische reikwijdtes of dus LoS (in km) bij een objecthoogte van 3 m werden reeds in de figuren 4 weergegeven, met volgende gegevens :

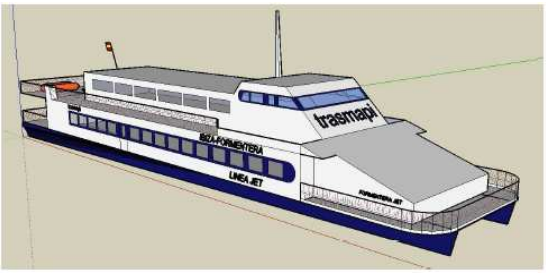
SRK station	masthoogte	schip 3 m	schip 10 m	schip 20 m	WT 100 m
Oostende	58 m	39 km	45 km	50 km	73 km
Zeebrugge	40 m	33 km	39 km	44 km	65 km
Cadzand	30 m	30 km	35 km	40 km	60 km
Westkapelle	45 m	34 km	40 km	45 km	70 km
Neeltje Jans	110 m	50 km	56 km	61 km	84 km
Haamstede	58 m	39 km	45 km	50 km	73 km
Ouddorp	56 m	38 km	44 km	49 km	72 km

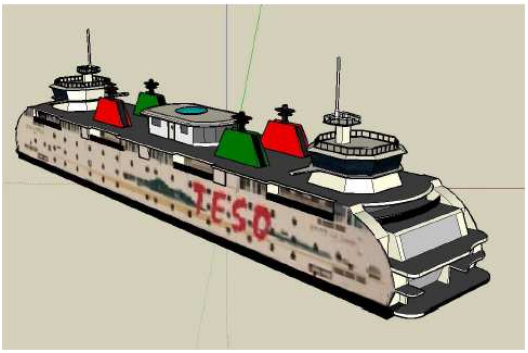
Tabel 6. LoS reikwijdte van de radarinstallaties, door de kromming van de aarde

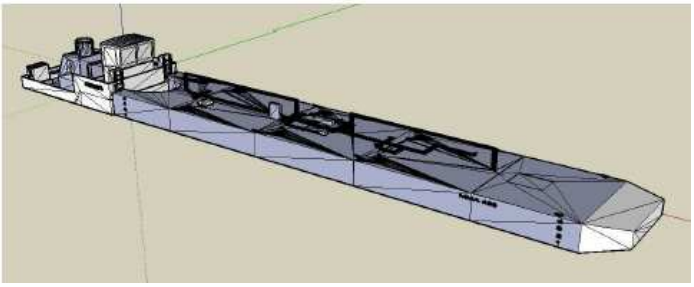
Uit voorgaande tabellen en grafieken blijkt dat voor de meeste schepen en objecten, de geometrische LoS afstand bepalend is voor het feitelijke bereik van de radar. Hierbij dient gewezen op het gecombineerde feit dat schepen met kleine hoogte ook meestal een kleinere RCS zullen hebben.

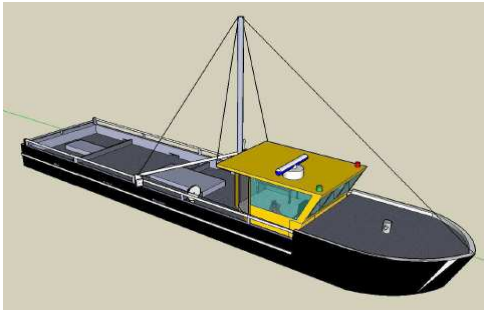
2.4. RCS van schepen

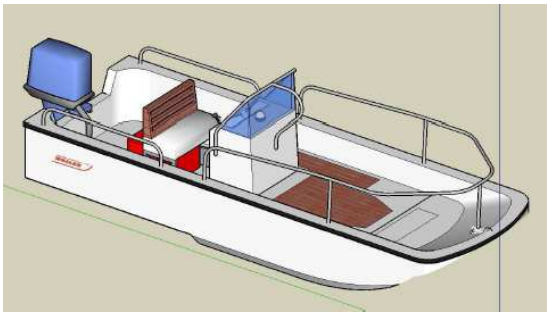
In de literatuur zijn ook een paar voorbeelden bekend van numerieke simulaties omtrent de Radar Cross Section (RCS) van enkele typische (kleinere) schepen. Sommige resultaten worden hierbij ter informatie weergegeven [*TSC 2008*].











Vessel	Length (m)	Height (m)	Peak RCS (dBsm)	Nominal RCS (dBsm)
Boston Whaler	7.2	2.4	46	3
Traditional Ferry	71.6	16.8	61	25
Fishing Boat	10.7	4.7	53	22
High Speed Ferry	43.7	11.6	84	15
Oil Barge with Tug	116.8	11.2	66	35

3. Literatuurstudie

Er werd in het kader van deze studie en ter voorbereiding van de feitelijke impactanalyse later, een literatuurstudie uitgevoerd. Zoals reeds hoger opgemerkt werd heel wat onderzoek uitgevoerd rond de invloed van windturbineparken op de radarinstallaties voor het luchtverkeer (ATC), zowel voor onland als offshore.

Een overzicht hiervan wordt gegeven in appendix 1 van dit rapport. Daarin wordt een opsomming gegeven van specifieke studies en rapporten rond offshore windparken en de effecten op de marineradar, en dit zowel voor de walradar en de scheepsradar. Bovendien worden een aantal publicaties vermeld omtrent radar en windturbines in het algemeen.

Er kan gesteld worden dat er momenteel relatief weinig gegevens beschikbaar zijn voor windparken op zee en de impact op de walradar. De betreffende studies omvatten allemaal offshore windparken die op een typische afstand van 8 à 14 km uit de kust liggen (5 à 8 NM). Voor verder afgelegen windparken op zee (***typisch op 25 à 40 km uit de kust – zoals het Belgische concessie gebied of het project Borssele***) zijn momenteel geen praktijkgegevens beschikbaar.

Daarentegen zijn er wel een aantal testresultaten bekend voor wat de feitelijke impact op de scheepsradar betreft (en bij uitbreiding op radarinstallaties op zeer korte afstand van de windparken op zee).

Een belangrijk document is wel een aanbeveling van het Franse agentschap Agence Nationale des Fréquences (ANFR): *"Rapport CCE5 n°3:Perturbations du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et 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

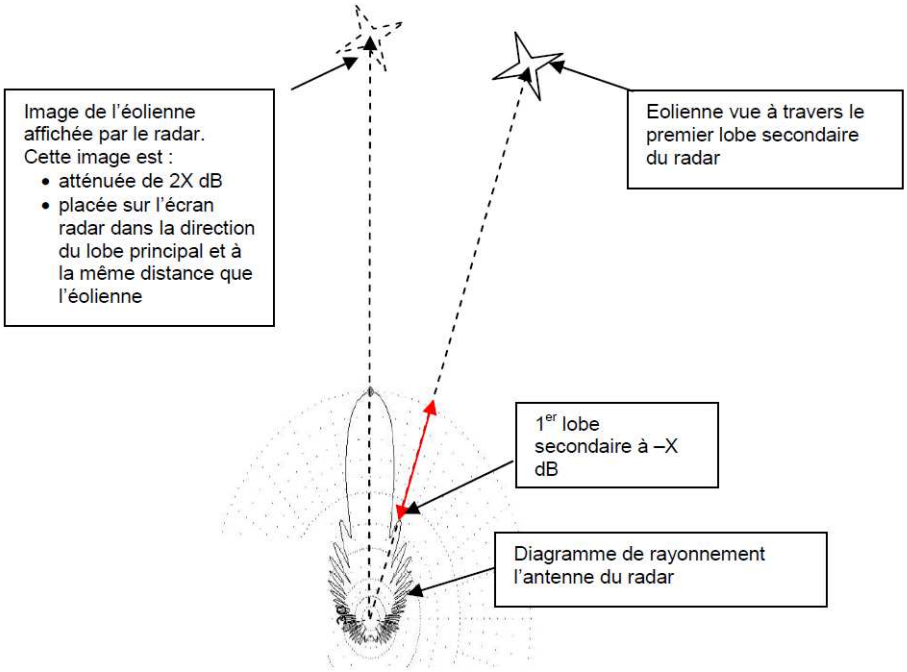
Uit de analyse van de beschikbare literatuur, papers en presentaties kunnen de volgende zeven belangrijke items en/of effecten gedistilleerd worden. Deze items zullen als dusdanig dan ook systematisch behandeld worden bij de hierna ontwikkelde impactanalyse. Er wordt telkens een detailstudie uitgevoerd 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 de windparken op zee met de Line of Sight (LoS) en rekening houdend met de kromming van de aarde.
Hierbij wordt verwezen naar sectie §2. van dit rapport, waar dit effect reeds in detail besproken werd.

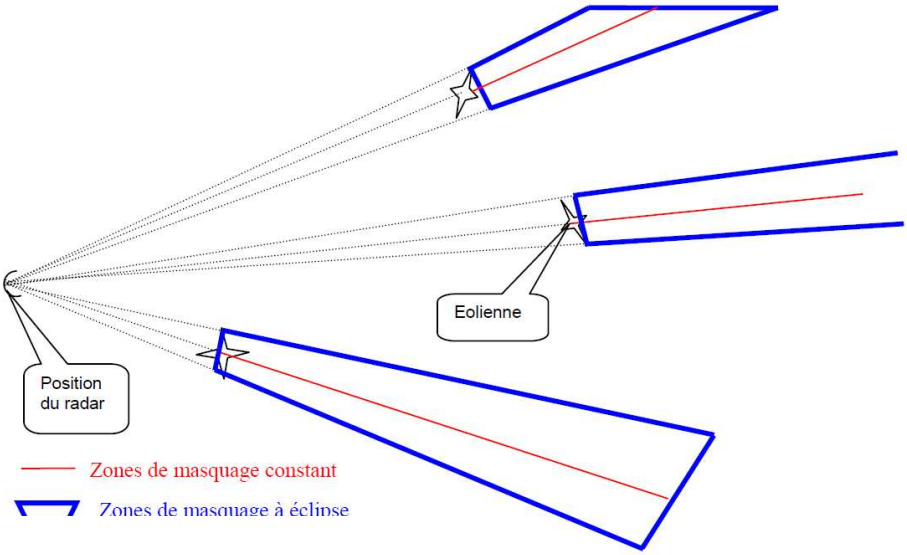
4.2. Mogelijke detectie door de zijlobes van de radarantenne, waarbij een tweede (virtuele) windturbine wordt waargenomen.
Het optreden van dit effect wordt geschetst in figuur 10. Het is duidelijk dat dit alleen kan met objecten die een voldoende grote RCS zullen hebben, en bovendien op relatief korte afstand van de radar gelegen zijn, zodat het gereflecteerde signaal nog kan gedetecteerd worden door de ontvanger.

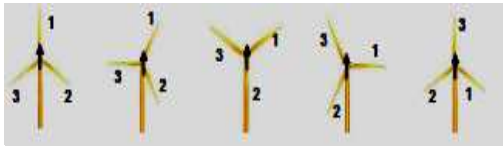
4.3. Shadowing en mogelijke dode zones achter de windturbines. Hierdoor ontstaan achter de windturbines zones met een verminderde "zichtbaarheid" door de attenuatie van het signaal, en wat dus een vermindering in reikwijdte met zich mee brengt.
Dit effect wordt schematisch weergegeven in figuur 11.

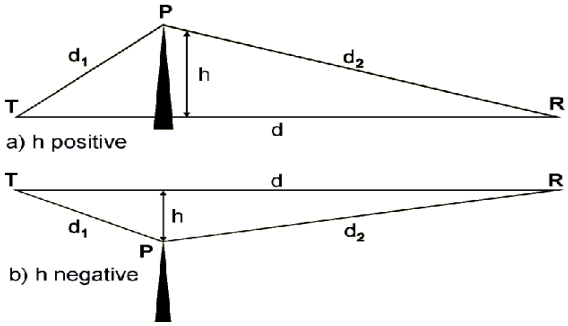
Bij een obstakel wordt door diffractie het bereik achter het voorwerp verminderd, of zelfs helemaal teniet gedaan (dode zone). Wanneer de Line of Sight (LoS) niet verstoord wordt door het obstakel (h negatief), dan blijft het volledige bereik gehandhaafd. Wordt de LoS wel verstoord, dan kan er zich afhankelijk van afstand en "effectieve hoogte h" (of effectieve breedte b), een zekere attenuatie van het radarsignaal optreden.



Figuur 10. Detectie door zijlobes – ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR

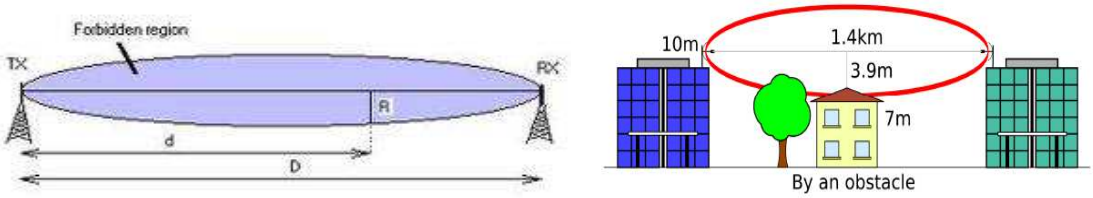






Figuur 11. Dode zones en schaduwzones achter een windturbine - ref. Rapport CCE5 n°3 van ANFR en Fresnel edge attenuation

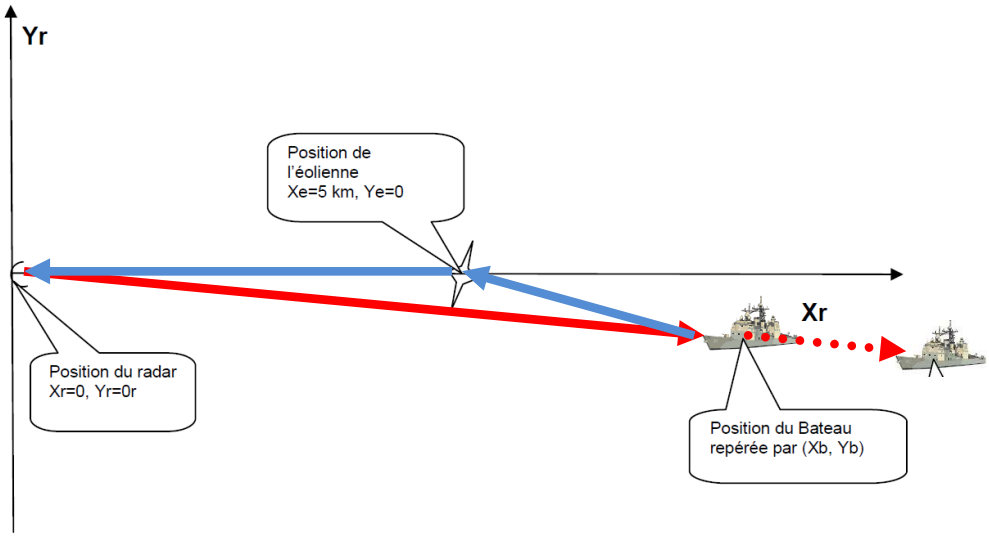
4.4. Mogelijke onvoldoende vrije doorgang tussen de windturbines (Fresnel voorwaarden). Dit is vooral van belang voor de doorzichtigheid van de windparken. In de betreffende literatuur is heel wat aandacht besteed aan dit effect, om van op kortere afstanden scheepvaartbewegingen in en achter een windturbinepark te kunnen waarnemen.
De voorwaarden voor een voldoende doorgang van een radiosignaal worden gegeven door de Fresnel ellips. Hierbij bepaalt de factor n de graad van protectie van de communicatie, waarbij n=1 als voldoende wordt beschouwd voor de basisvorm van radiocommunicatie, en ook voor radar het geval is. In figuur 12 hieronder wordt dit schematisch weergegeven.



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

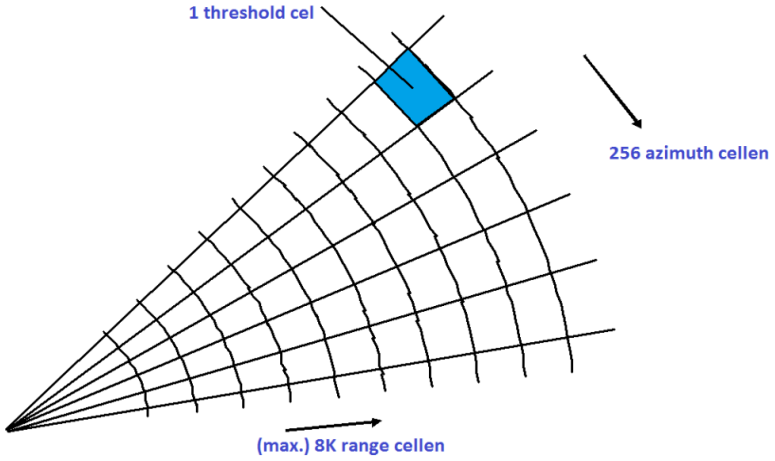
Figuur 12. Voorbeeld Fresnel ellips

4.5. Meervoudige reflecties en mogelijke valse echo's. Door een weerkaatsing naar een ander object kan het gebeuren dat de radarontvanger een tweede signaal ontvangt, en zo een tweede (virtueel) object "waarneemt". Dit kan zowel een tweede windturbine zijn, als een tweede schip, afhankelijk van de oriëntatie van de radarantenne. In figuur 13 wordt een voorbeeld geschetst waarbij een tweede schip zou waargenomen worden.



Figuur 13. Meervoudige reflectie met een virtueel object als valse echo.

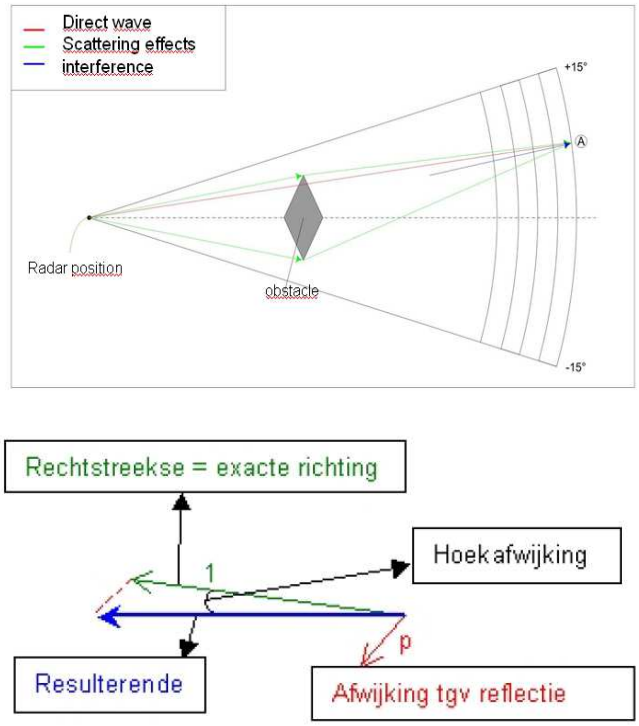
4.6. Clutter effect door de veranderende RCS van de draaiende rotoren. Clutter van o.a. de zeegolven kunnen met aangepaste algorithmes worden weggefilterd (als ruis). De meeste clutter algorithmes hebben een verminderde gevoeligheid van de ontvanger als gevolg, en dus een verminderd bereik dan wel een verminderde zichtbaarheid van kleinere objecten. Dit noemt men de bijhorende maskering. Een aantal algorithmes laten toe om de aangepaste gevoeligheid (raised threshold) van de ontvanger slechts voor een aantal waarnemingscellen van de radar door te voeren, zodat maskering zich niet in alle cellen van het radarbeeld voordoet.



Figuur 14. Voorbeeld van de waarnemingscellen van het radarbeeld

Aanvullend kan hierbij nog genoteerd worden dat de tangentiale resolutie/bundelbreedte van de radar 100 m is op een afstand van 12 km en 335 m op een afstand van 40 km.
In diepte is de resolutie 47 m (bij een pulslengte van 200 nsec).

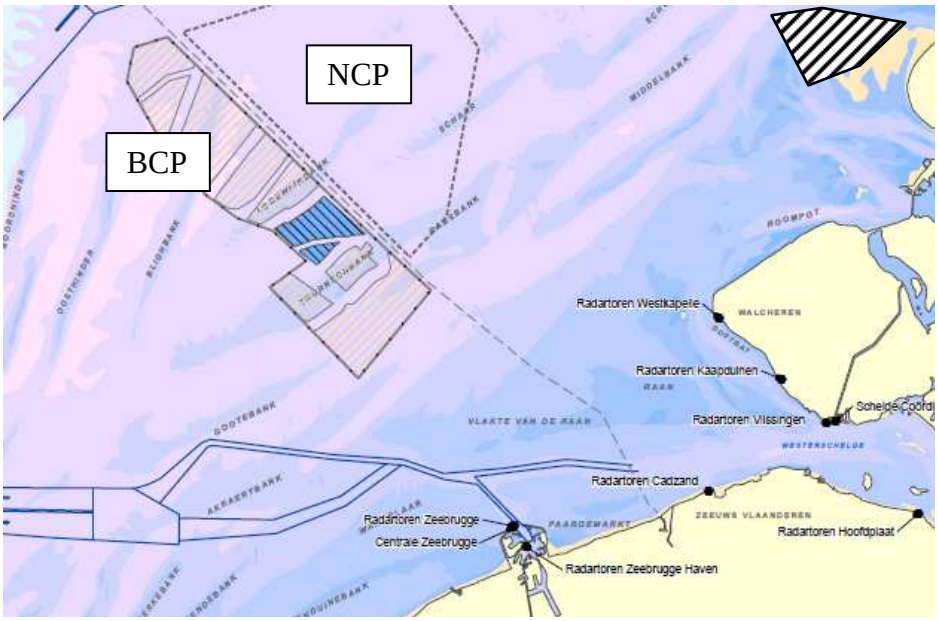
4.7. Diffractie en multipath propagatie, met range en azimuth fouten voor de localisatie van een object. Door de propagatie rond en omheen een object (vb. windturbine) zijn er verschillende weglengtes van de verschillende signalen tot bij het waar te nemen voorwerp (vb. een schip), en de reflecties. Op die manier ontstaat een samengesteld signaal tussen de 'directe' radargolf en een tweede golf, waardoor zowel naar looptijd (afstand of range) en richting (azimuth) een foutieve waarneming kan ontstaan.



Figuur 15. Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effecten.

5. Impactanalyse voor de cumulatieve effecten op de SRK walradar

Niettegenstaande deze studie specifiek het zoekgebied “Schouwen” omvat, dient toch nagezien in hoeverre er mogelijke cumulatieve effecten en situaties kunnen optreden ten gevolge van andere projecten, al dan niet reeds in uitvoering, gegund of in aanvraag.
Voor alle duidelijkheid worden de verschillende concessiegebieden en het zoekgebied “Schouwen” in de volgende figuur 16 herhaald.



Figuur 16. Ligging van de verschillende concessies in het Belgische BCP en Borssele voor het NCP, en het zoekgebied Schouwen

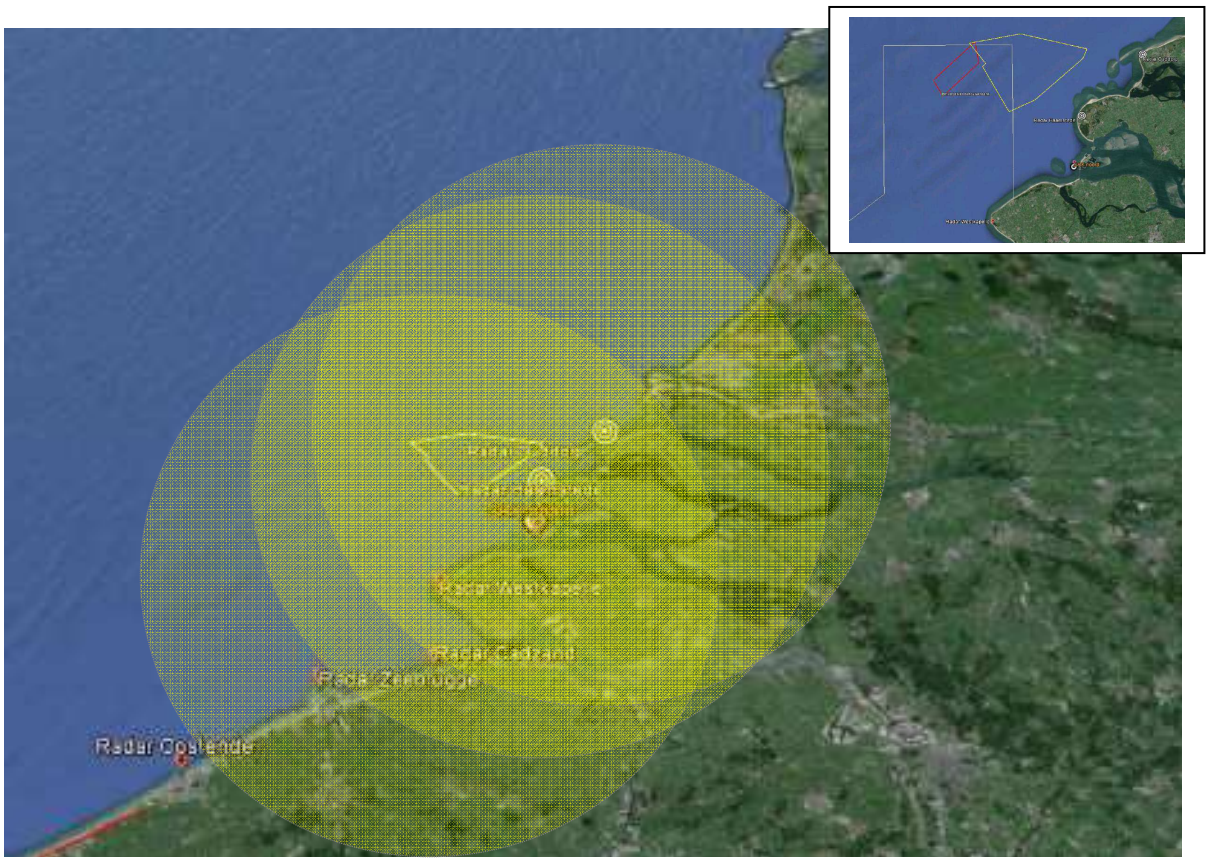
Rekening houdend met zowel de ligging als het effectieve bereik van de verschillende radarposten (zie tabellen 1 en 6 hierboven), en de voldoende spreiding tussen de bekende concessiegebieden en het nieuwe zoekgebied “Schouwen”, kan besloten worden dat er verder geen cumulatieve effecten dienen meegenomen te worden in deze verkennende studie.
Ook blijken enkel de radarstations van Westkapelle, Haamstede, Ouddorp en SRK Noord (Neeltje Jans) in aanmerking genomen te worden, gegeven het effectieve bereik van de SRK radarinstallaties in de praktijk.

De specifieke effecten bij een volledige invulling van het zoekgebied “Schouwen” zullen nu verder in detail voor elk radarstation afzonderlijk besproken worden.

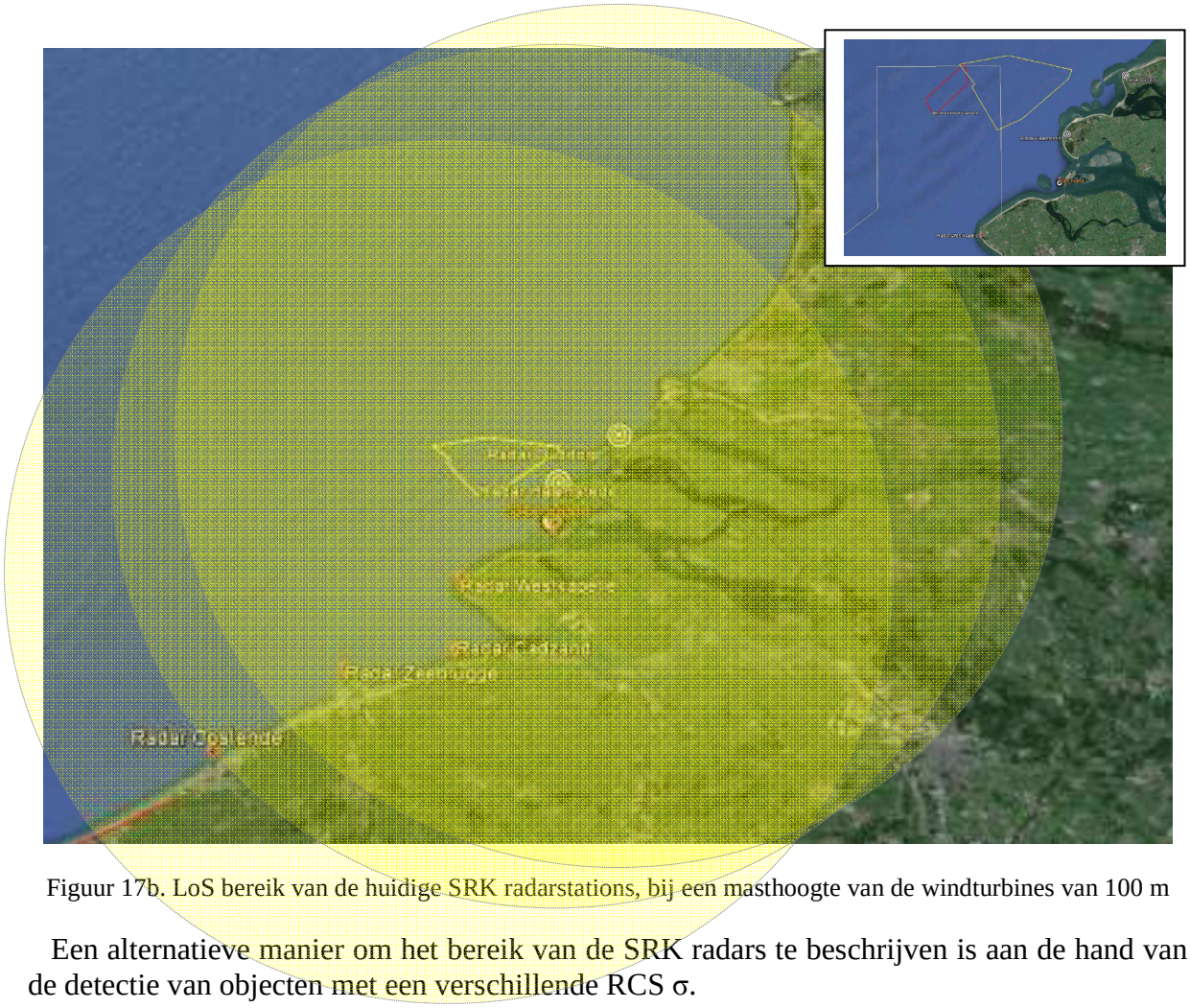
Hierbij kan reeds in het algemeen gesteld worden dat de radarbundel op een afstand van de radarantenne van 40 km meer dan 300 m bedraagt. Met de betreffende mastbreedtes voor de windturbines mag voor elke turbine afzonderlijk het diffractiemodel gebruikt worden, waarbij dus enkel kort achter de turbine een dode zone kan ontstaan. Cumulatief binnen een windpark zelf dient dan nog wel nagegaan te worden of er een clustering zal optreden die de vrije propagatie doorheen het windpark beperkt (zie Fresnel voorwaarden).

5.1. Controle van de zichtbaarheid van de windturbines

In eerste instantie dient nagegaan te worden in hoeverre het zoekgebied “Schouwen” zichtbaar is, binnen de beperkingen van de geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de radarinstallaties. De volgende figuren 17 geven de cumulatieve reikwijdte aan van de verschillende radarstations, waarbij een objecthoogte van 10 m en een masthoogte voor de windturbines van 100 m werd aangehouden. Het is zonder meer duidelijk dat voor alle betreffende radarstations, het zoekgebied “Schouwen” binnen de LoS valt.

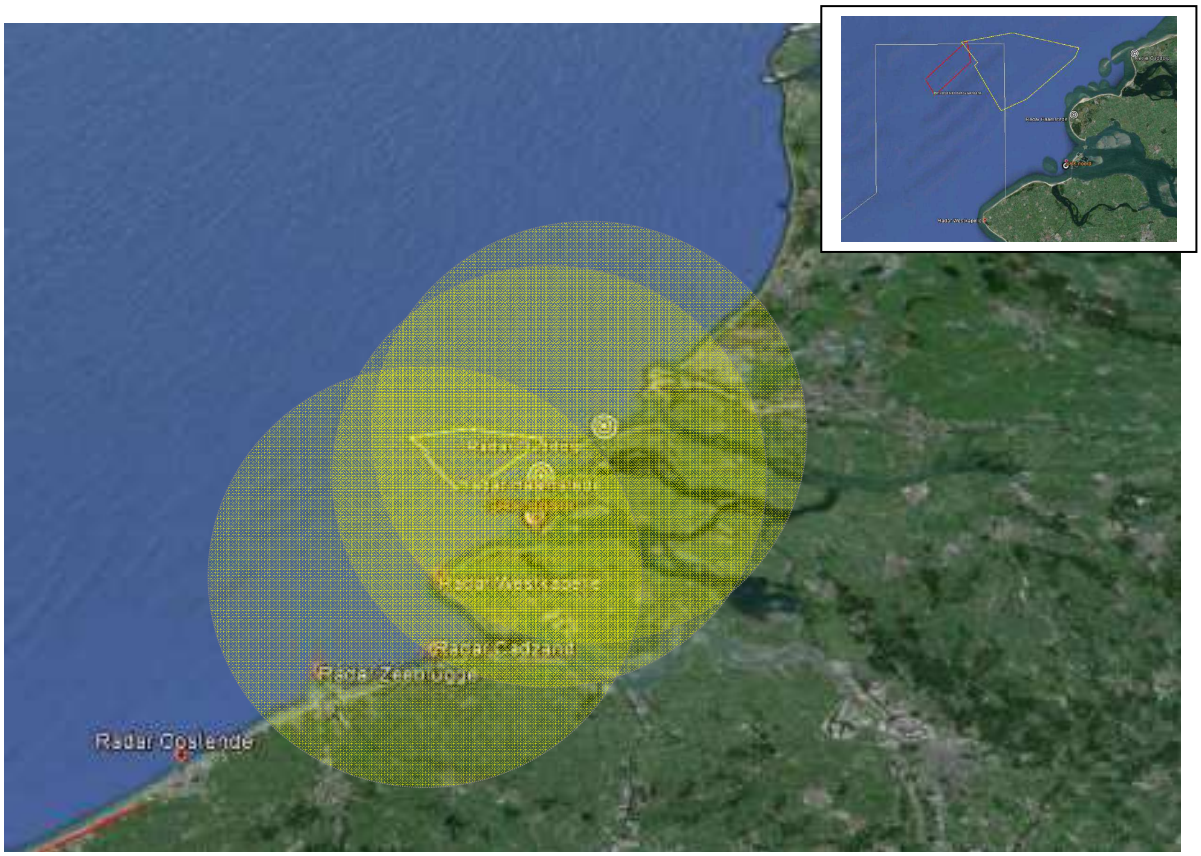


Figuur 17a. LoS bereik van de huidige SRK radarstations, bij een masthoogte van schepen van 10 m

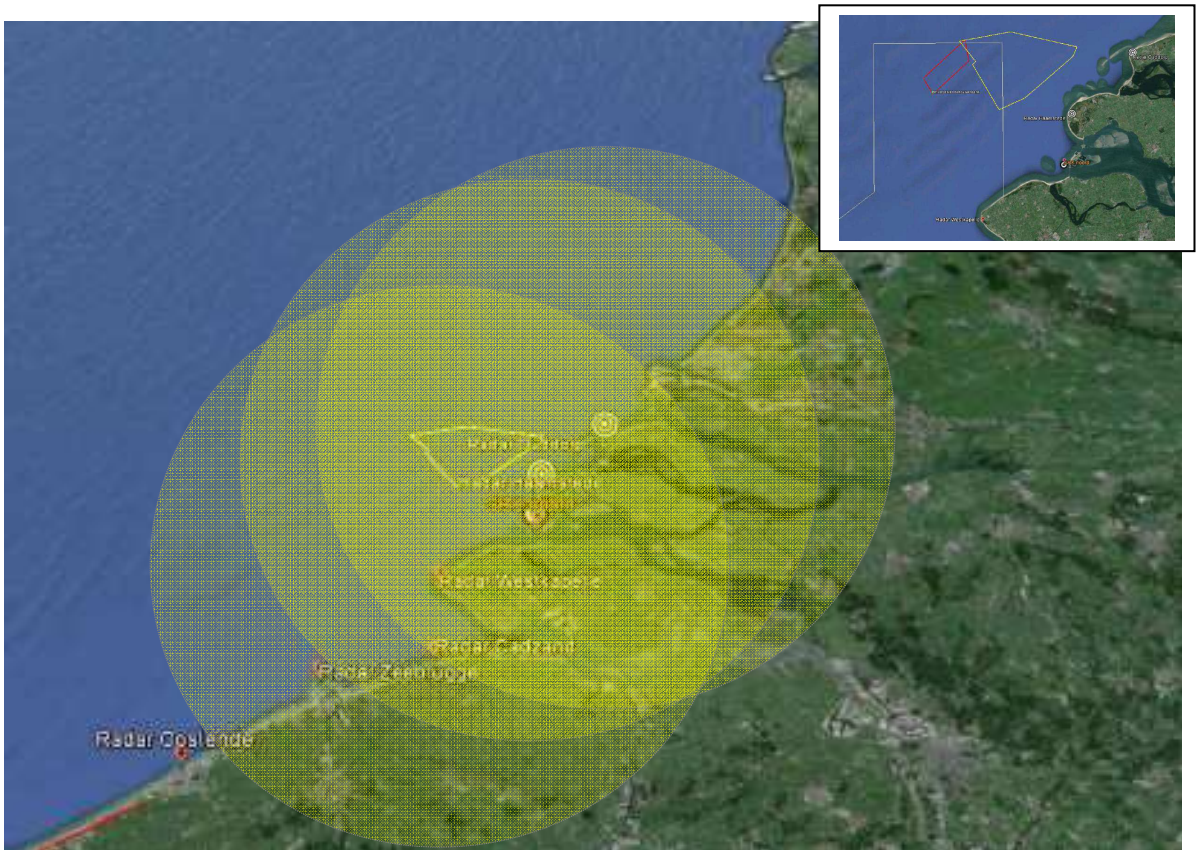


Figuur 17b. LoS bereik van de huidige SRK radarstations, bij een masthoogte van de windturbines van 100 m

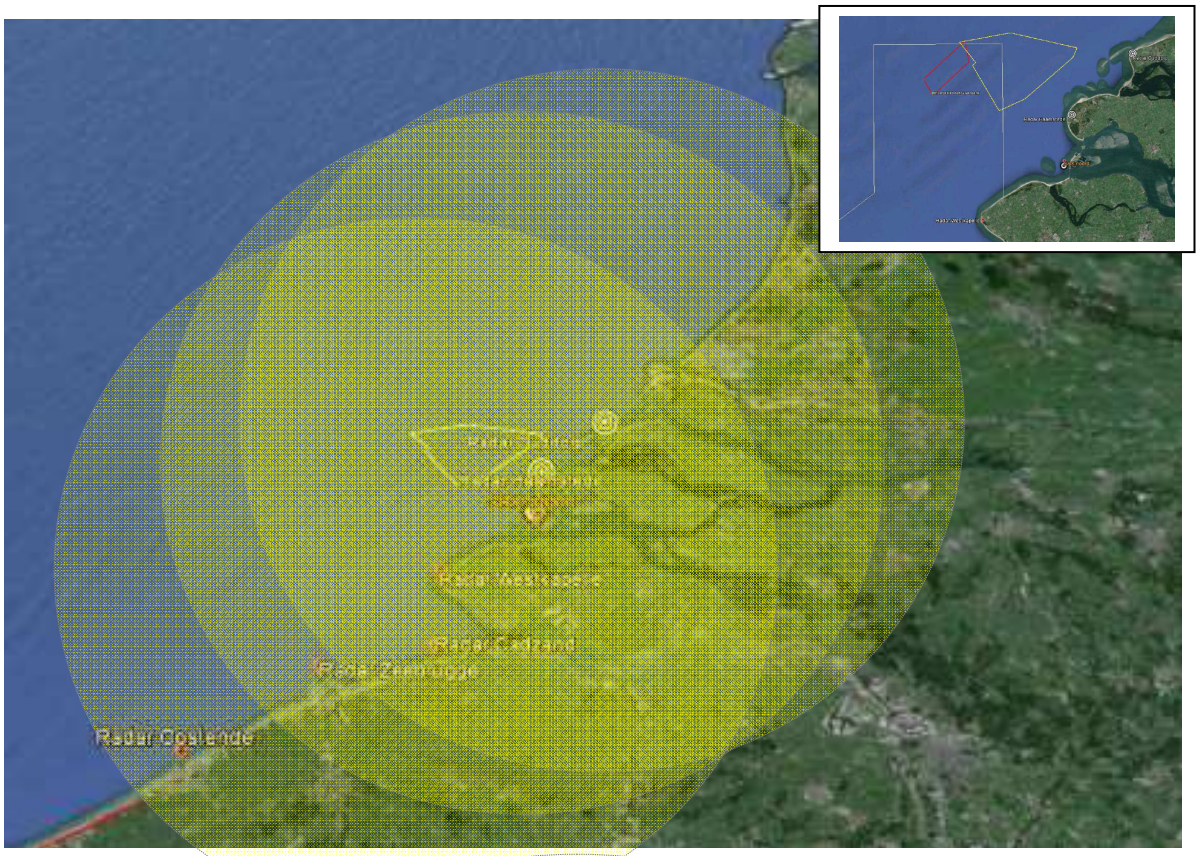
Een alternatieve manier om het bereik van de SRK radars te beschrijven is aan de hand van de detectie van objecten met een verschillende RCS σ.



Figuur 18a. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 1 m²



Figuur 18b. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 10 m²



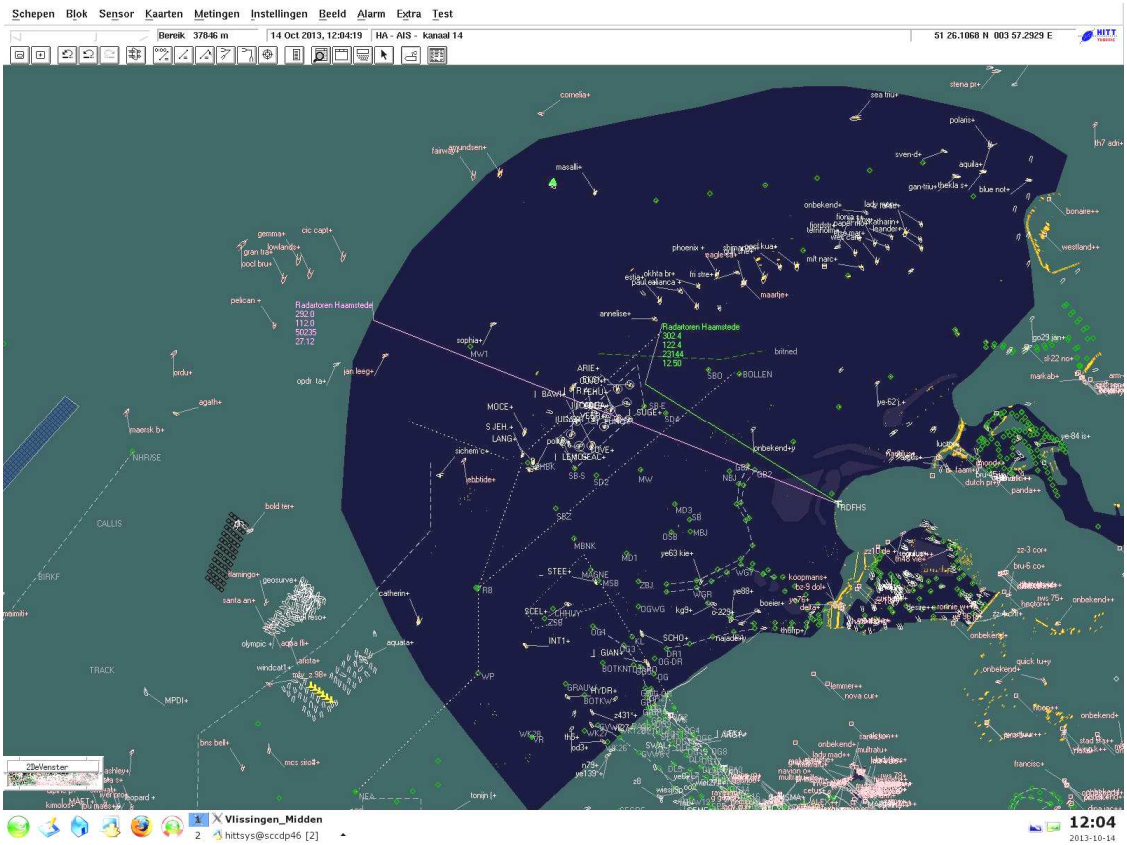
Figuur 18c. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 25 m²

Figuur 18d. RCS bereik van de SRK radarstations, bij een RCS van 100 m²

Uit bovenstaande analyse en grafieken volgt dus dat voor objecten met een zeer kleine RCS (< 1 m²), de gevoeligheid van de radarinstallaties beperkend zal zijn, en niet de Line of Sight. Voor objecten met een grotere RCS (> 25 m²) zal de Line of Sight de beperkende factor zijn.

Op te merken is hierbij wel dat door de kromming van de aarde een aantal objecten die zich achter de horizon bevinden, slechts gedeeltelijk in hoogte effectief zullen zichtbaar zijn, en dus een kleinere RCS zullen vertonen dan bij rechtstreekse aanstraling door de radar. Dit is hier echter niet het geval voor het zoekgebied Schouwen, dat volledig binnen de LoS van de verschillende radarstations ligt.

In ieder geval reikt het bereik van een aantal radarstations – onder een aantal gecombineerde omstandigheden van objecthoogte en RCS waarde – ver tot over het zoekgebied Schouwen. Daarom moet dus de attenuatie ten gevolge van de windturbines – de zogenaamde Fresnel edge attenuation – in aanmerking genomen worden om het effectieve bereik van de SRK radar bij de realisatie van de verschillende windparken op zee te kunnen inschatten.



Figuur 19. Voorbeeld van een screenshot van de reële radarwaarnemingen – radar van Haamstede

Courtesy van "Afdeling Scheepvaartbegeleiding"

Uit bovenstaande figuur 19 blijkt dat in de praktijk zelfs het scheepvaartverkeer van de grote zeevaartroutes voor grote schepen door de radar kan opgevolgd worden

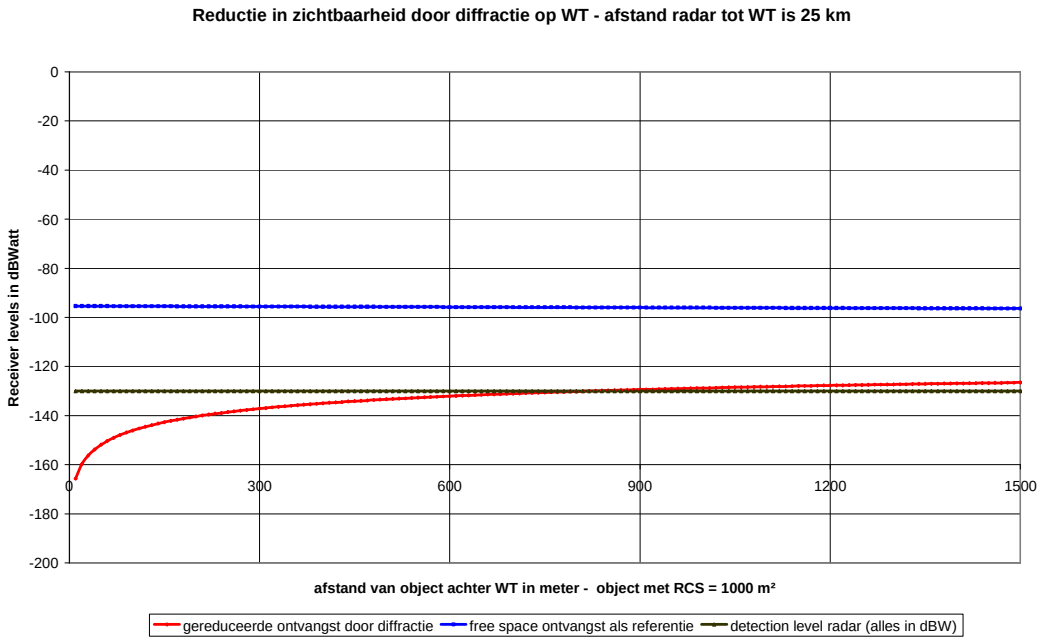
De Fresnel edge attenuation voor een windturbine geeft aanleiding tot een verminderde gevoeligheid achter de windturbine. In de volgende figuren wordt deze attenuatie gegeven voor een windturbine op een afstand van 25 km en 40 km, en een object met een RCS van 1000 m² in lijn achter de windturbine. Voor een meer gedetailleerde bespreking van dit verschijnsel wordt verwezen naar de secties §5.3. en §5.4. van dit rapport.

Uit voorgaande beschouwingen is het duidelijk dat de grote zeevaartroutes op zee – voorbij het zoekgebied "Schouwen" - nog steeds binnen het feitelijke waarnemingsgebied van de SRK radarstations liggen, en dit in functie van zowel de LoS (hoogte van de objecten) als de RCS van deze objecten,.

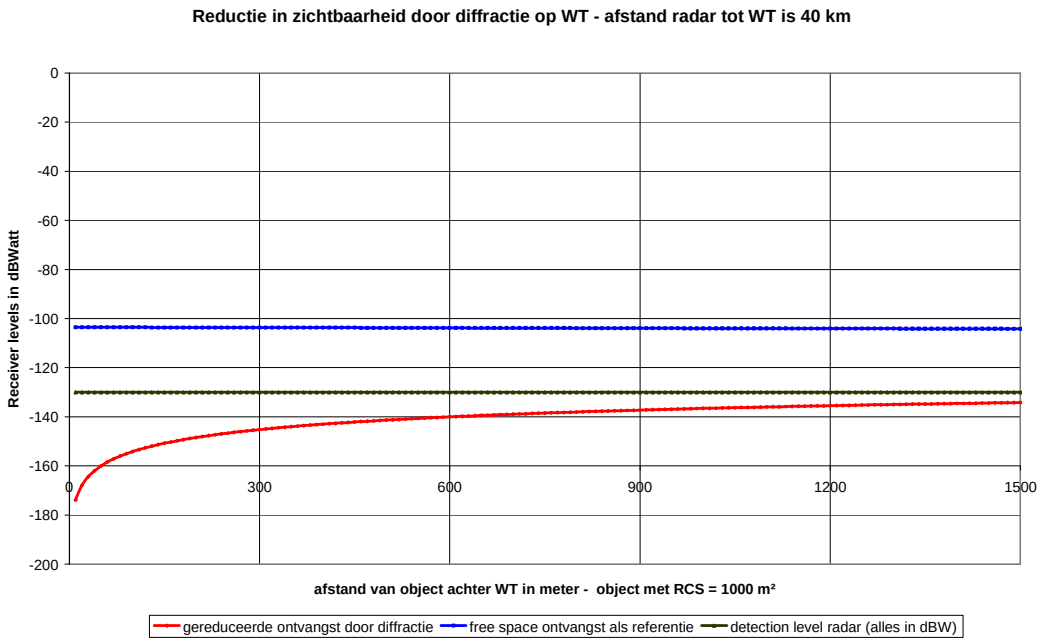
De bijkomende Fresnel edge attenuation maakt dat telkens de zone in lijn achter een windturbine niet meer (voldoende) zichtbaar zal zijn voor de betreffende radar.

Indien tussen de windturbines nog een voldoende vrije propagatie mogelijk is, zal het windpark toch nog doorzichtig blijven, en zouden voldoende grote objecten (hoogte en RCS) toch nog kunnen waargenomen worden achter het windpark.

Omdat uit de praktijk van offshore windparken blijkt dat het oplijnen van windturbines ten opzichte van één of meerdere radarstations niet mogelijk is, wordt er in deze studie van uit gegaan dat het zoekgebied als niet doorzichtig dient beschouwd te worden (clustering).
Omdat de verschillende windturbines echter geen aaneengeschakeld geheel vormen, wordt in deze studie het eenvoudige Fresnel edge model toegepast bij deze "open clustering". Zie annex 3 voor meer details omtrent meer accurate modellen voor grote voorwerpen.
Zie verder ook sectie §5.4. voor meer details.



Figuur 20. Fresnel edge attenuation door een windturbine op 25 km afstand, object met RCS = 1000 m²



Figuur 21. Fresnel edge attenuation door een windturbine op 40 km afstand, object met RCS = 1000 m²

In de volgende paragrafen wordt nu voor elk radarstation afzonderlijk de situatie geschetst van de originele toestand voor het zoekgebied “Schouwen” en de kritische zones die achter het zoekgebied ontstaan ten gevolge van de bovenstaande effecten.

In deze eerste benadering wordt dus uitgegaan van een model waarbij de windturbines een open clustering vertonen, en het gebied dus niet meer voldoende doorzichtig wordt voor de radargolven.

In de figuren 22 – 25 wordt het bereik van elk radarstation telkens afzonderlijk weergegeven voor twee typische condities van objecten:

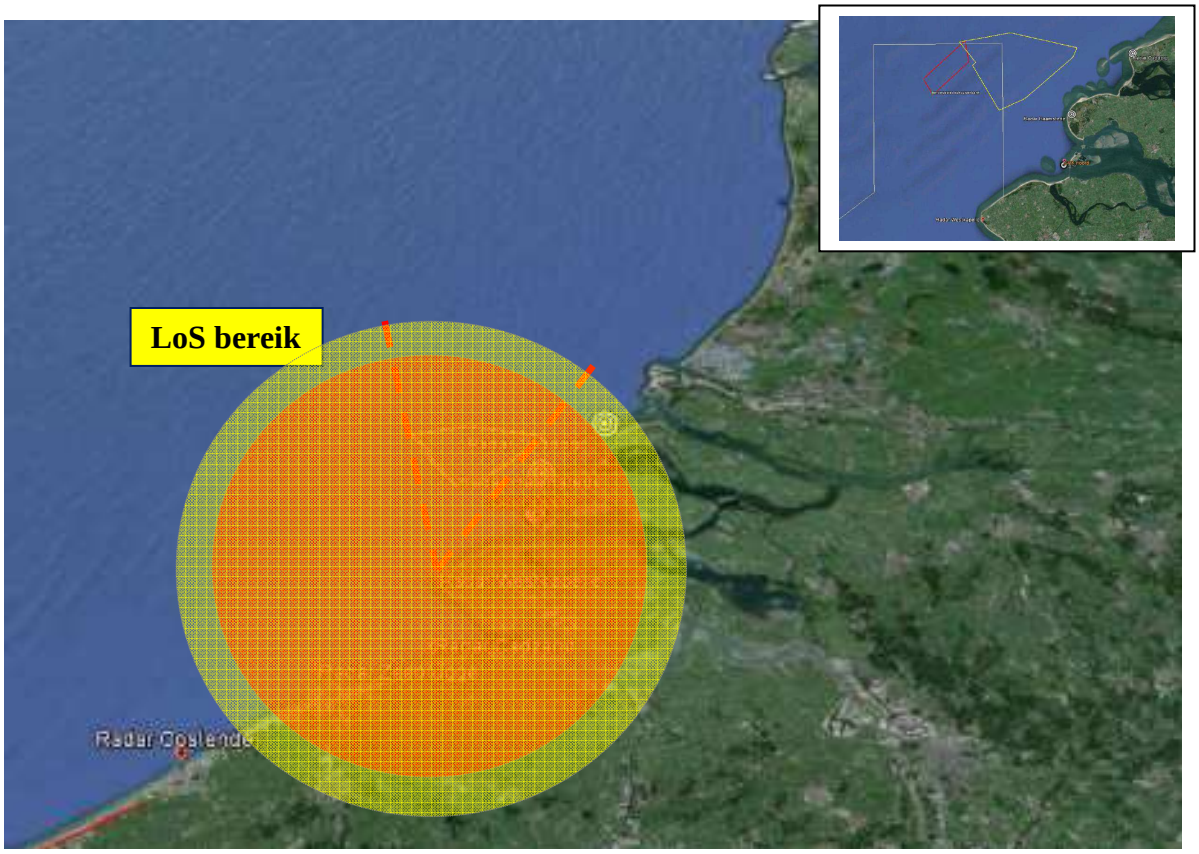
- LoS bereik bij een objecthoogte van 3 m (***gele cirkels aangegeven met een label ‘LoS’***) en een bijhorende RCS van 1 m² (***rode cirkel***) – klein schip
- LoS bereik bij een objecthoogte van 10 m (***cirkel aangegeven met een label ‘LoS’***) en een bijhorende RCS van 100 m² (***rode cirkel***) – groot schip

De zone van verminderd/verdwenen radarbereik ten gevolge van een windpark in het zoekgebied “Schouwen” wordt hierbij telkens gearceerd aangegeven in een aparte figuur. Hierbij dient ook verwezen naar de volgende paragrafen §5.3. en §5.4. omtrent shadowing en de Fresnel edge attenuatie/vrije radiopropagatie.

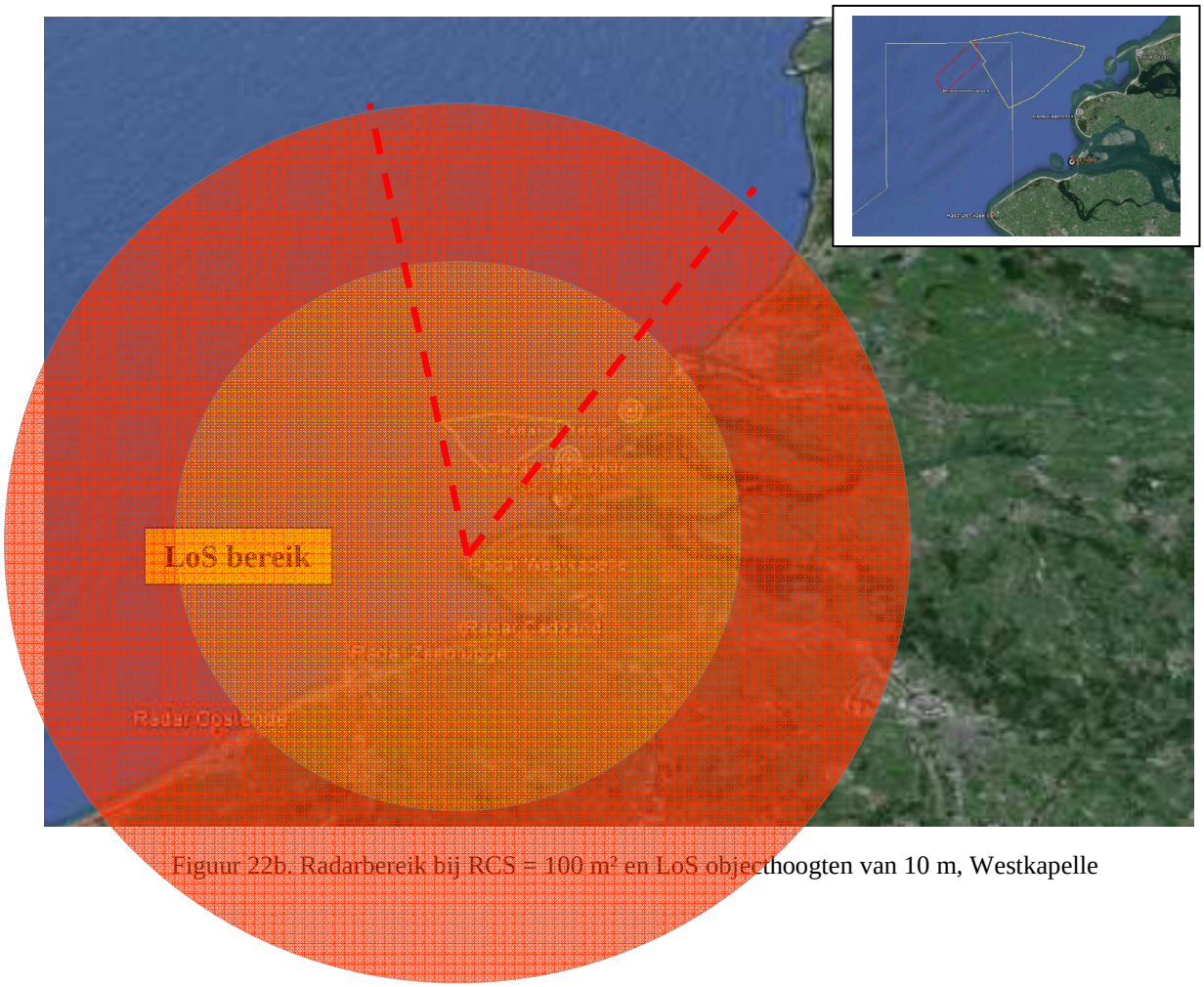
5.1.1. Radar van Westkapelle

In de onderstaande figuren 22 wordt het SRK radarbereik bij een RCS van 1 m² gegeven, samen met het LoS bereik voor de radar van Westkapelle, bij een objecthoogte van 3 m, en het RCS radarbereik bij een RCS van 100 m² bij een objecthoogte van 10m.

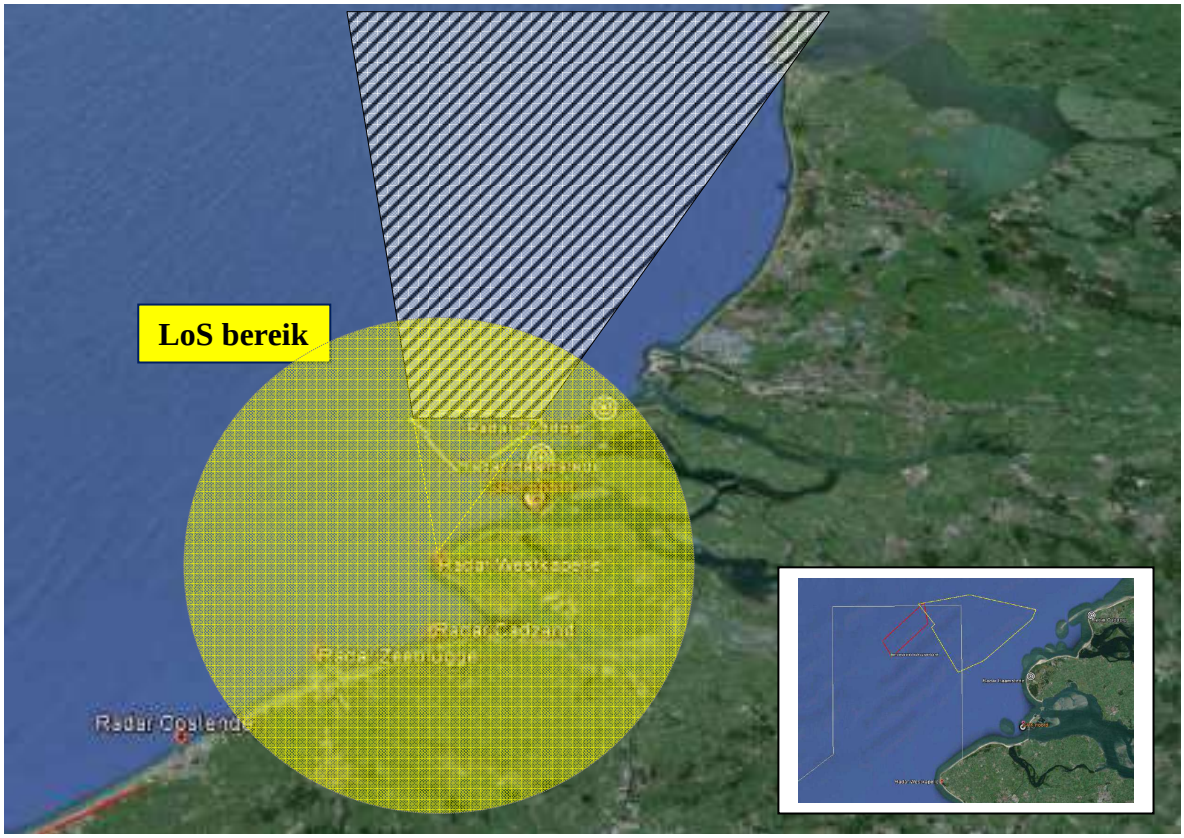
Figuur 22d tenslotte is een actuele screenshot van het radarbeeld in een SRK radarcentrale voor de radar van Westkapelle.



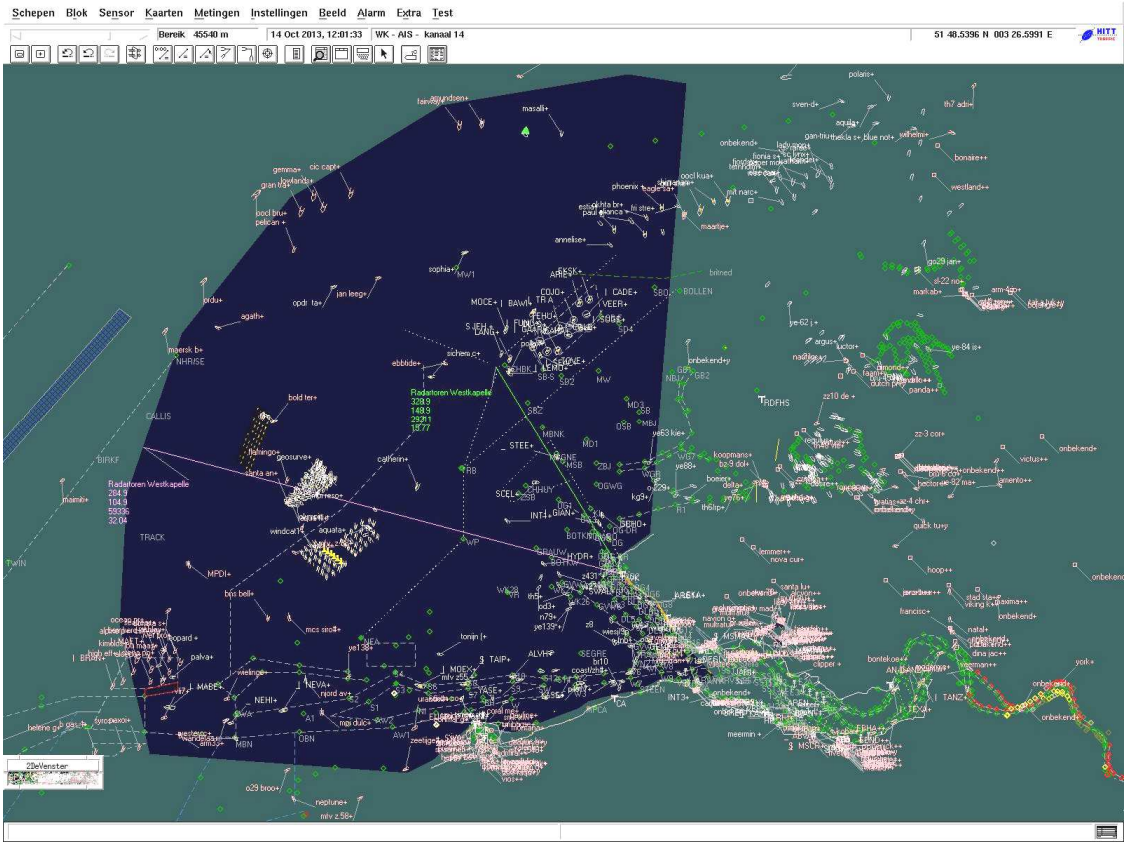
Figuur 22a. Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Westkapelle



Figuur 22b. Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m, Westkapelle



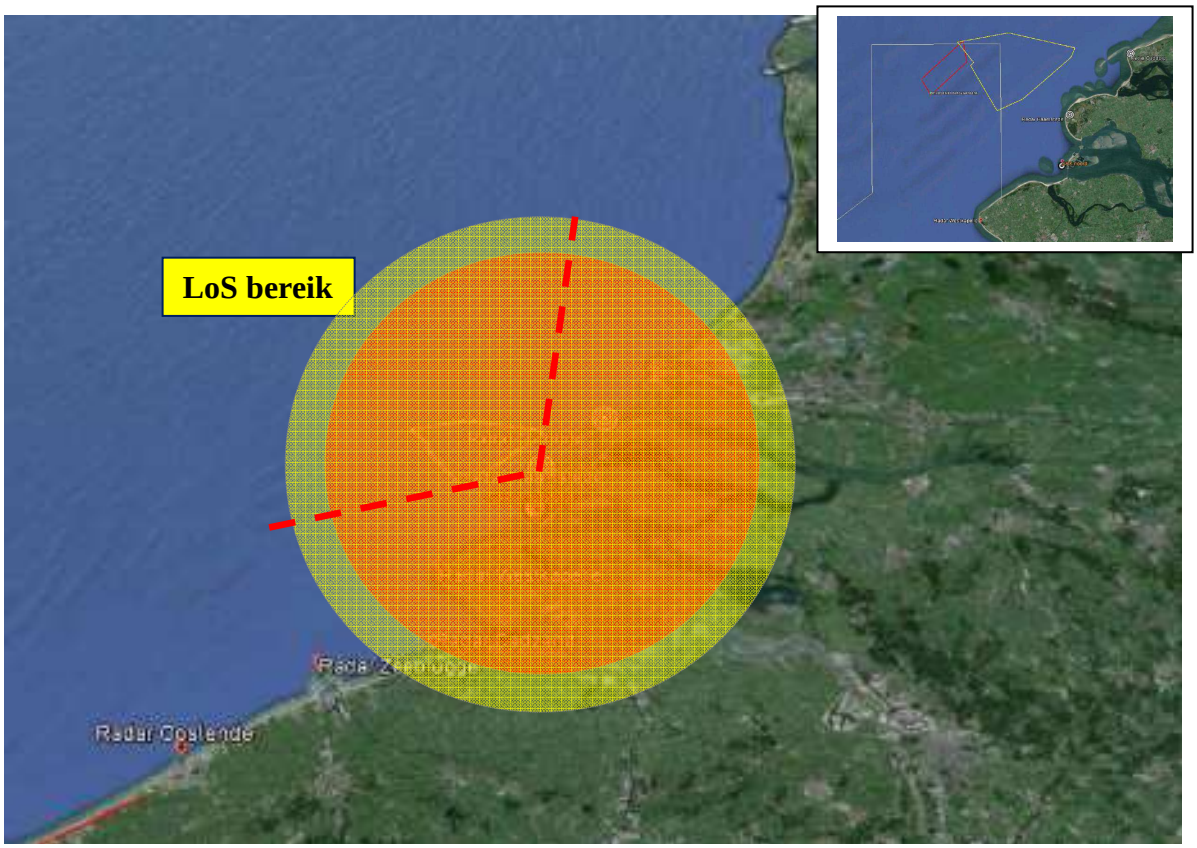
Figuur 22c. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Westkapelle



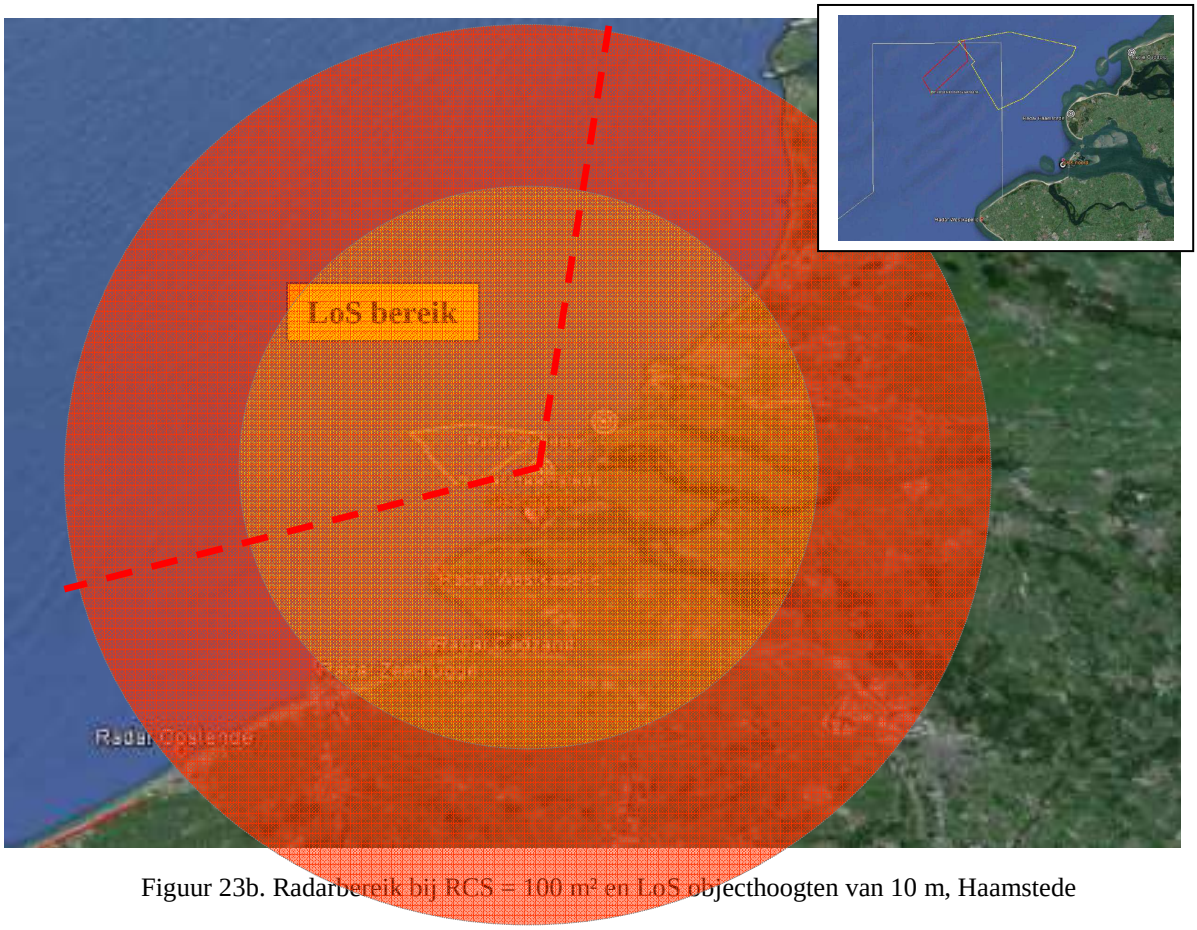
Figuur 22d. Screenshot radar van Westkapelle, oktober 2013

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

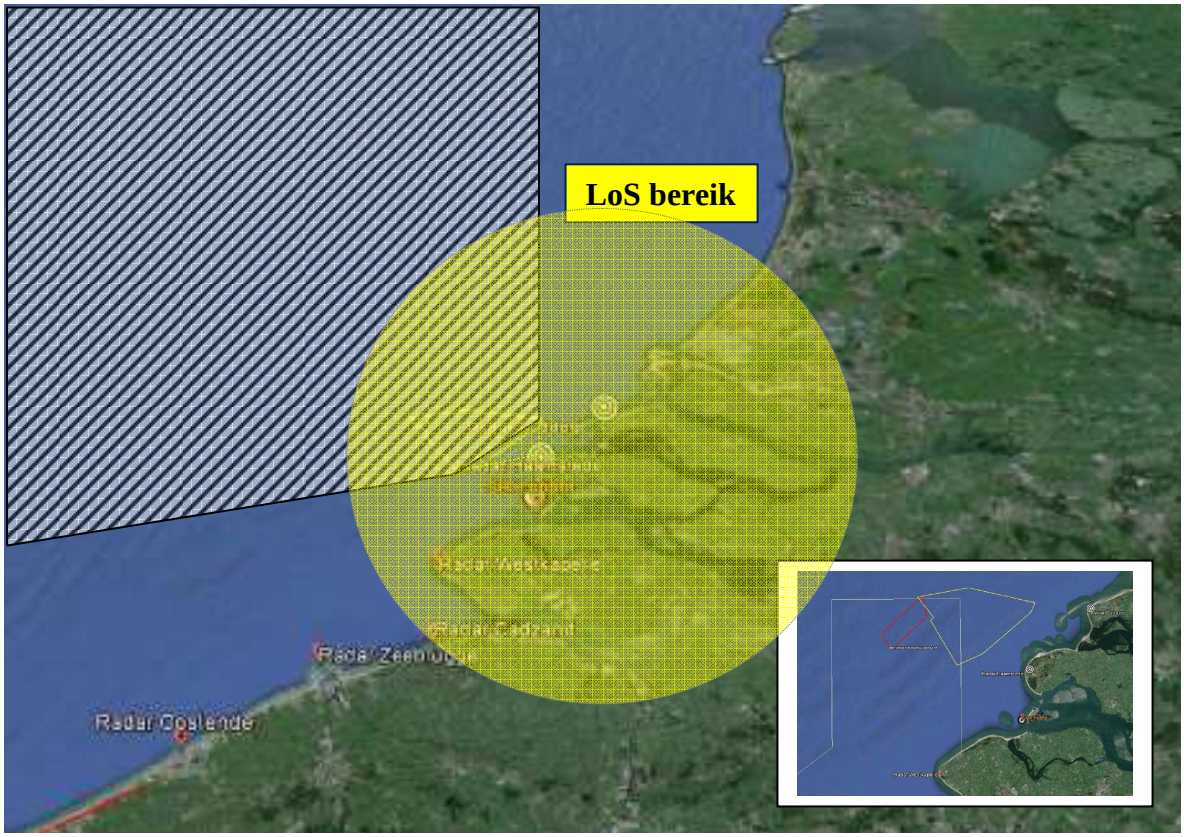
5.1.2. Radar van Haamstede



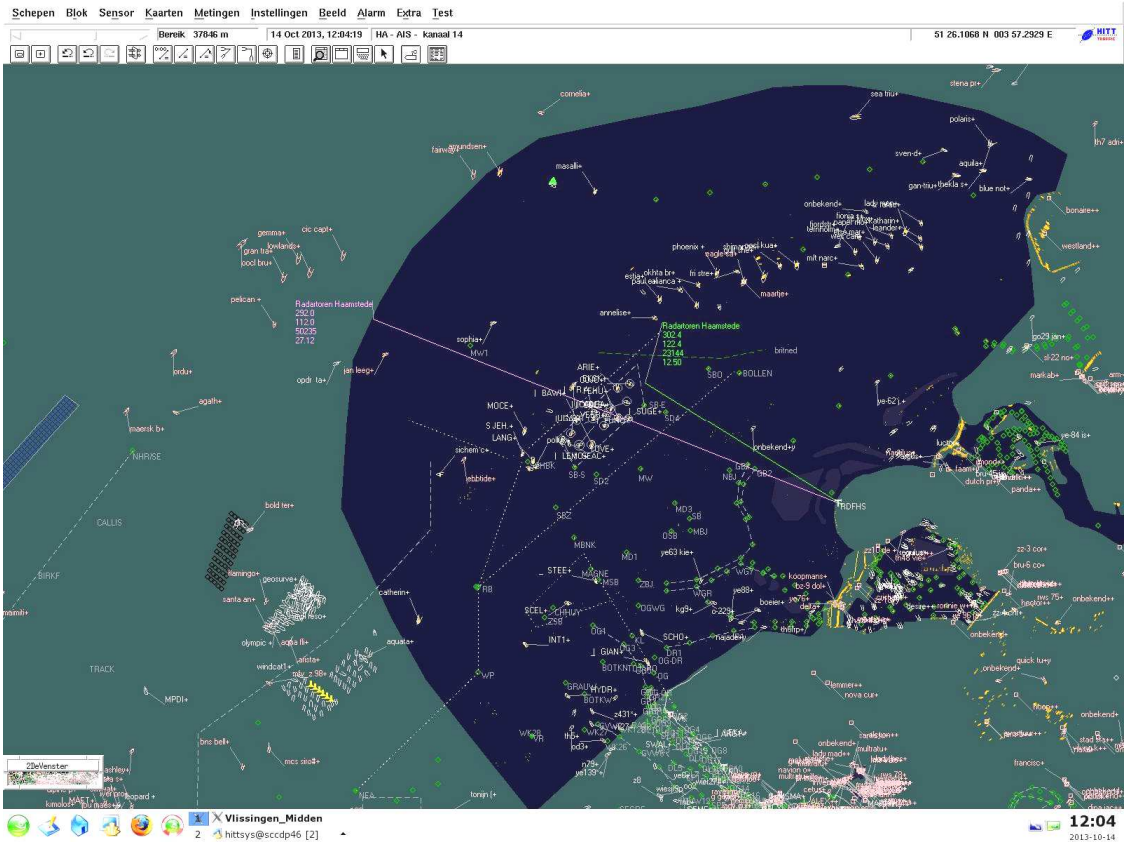
Figuur 23a. Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Haamstede



Figuur 23b. Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m, Haamstede



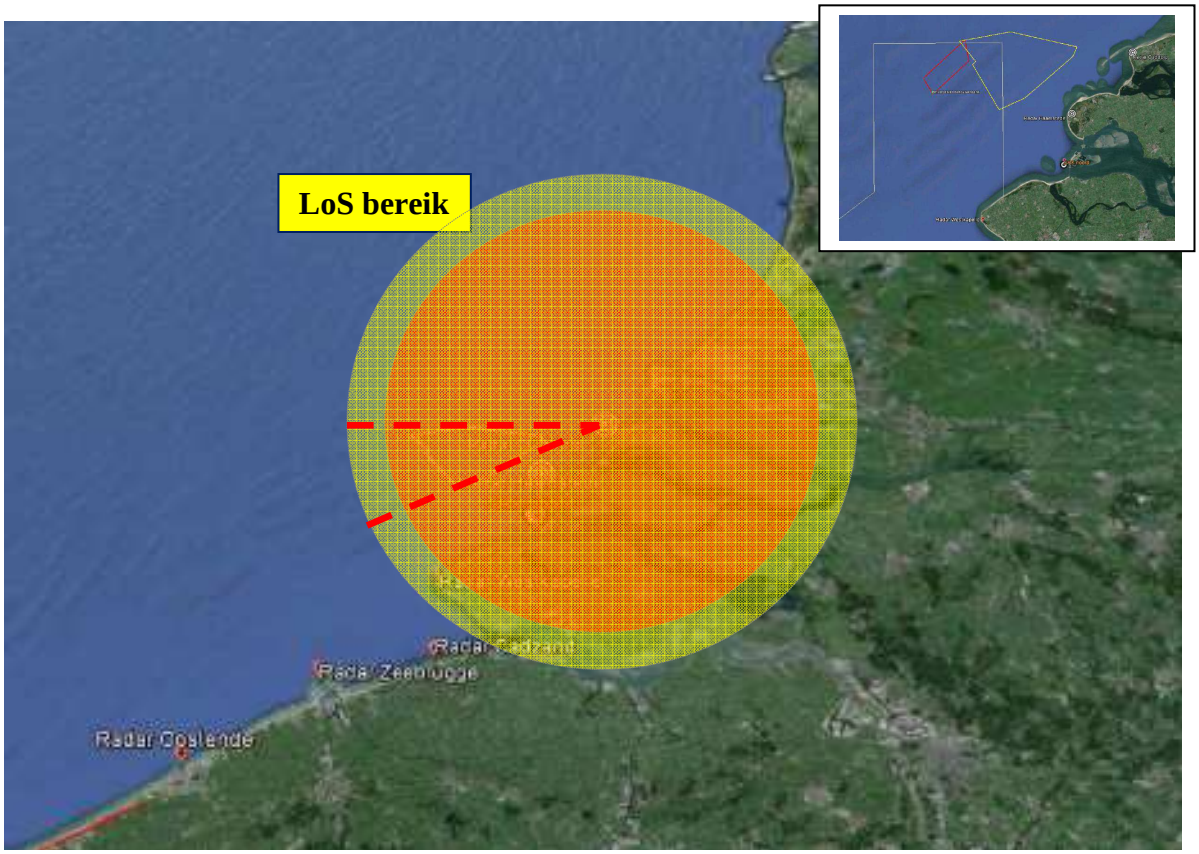
Figuur 23c. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Haamstede



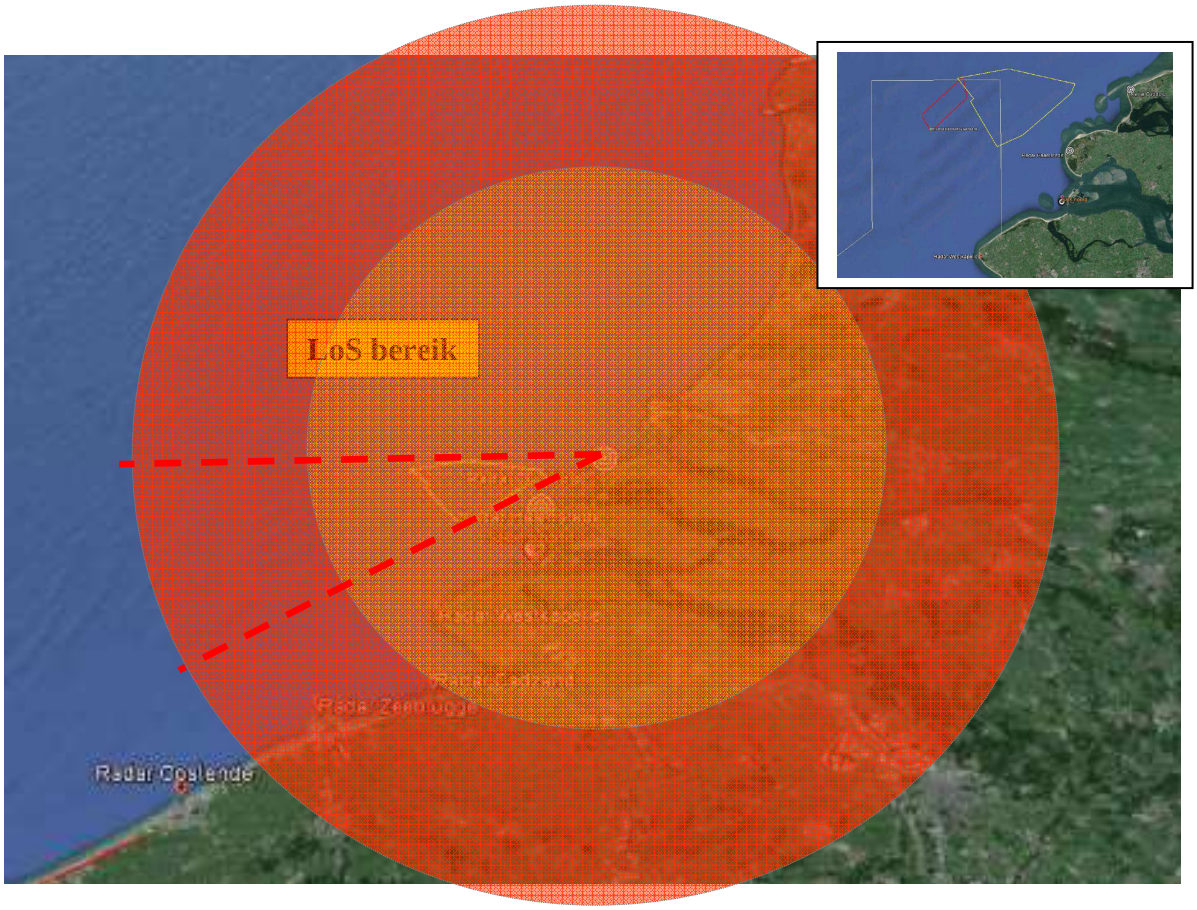
Figuur 23d. Screenshot radar van Haamstede, oktober 2013

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

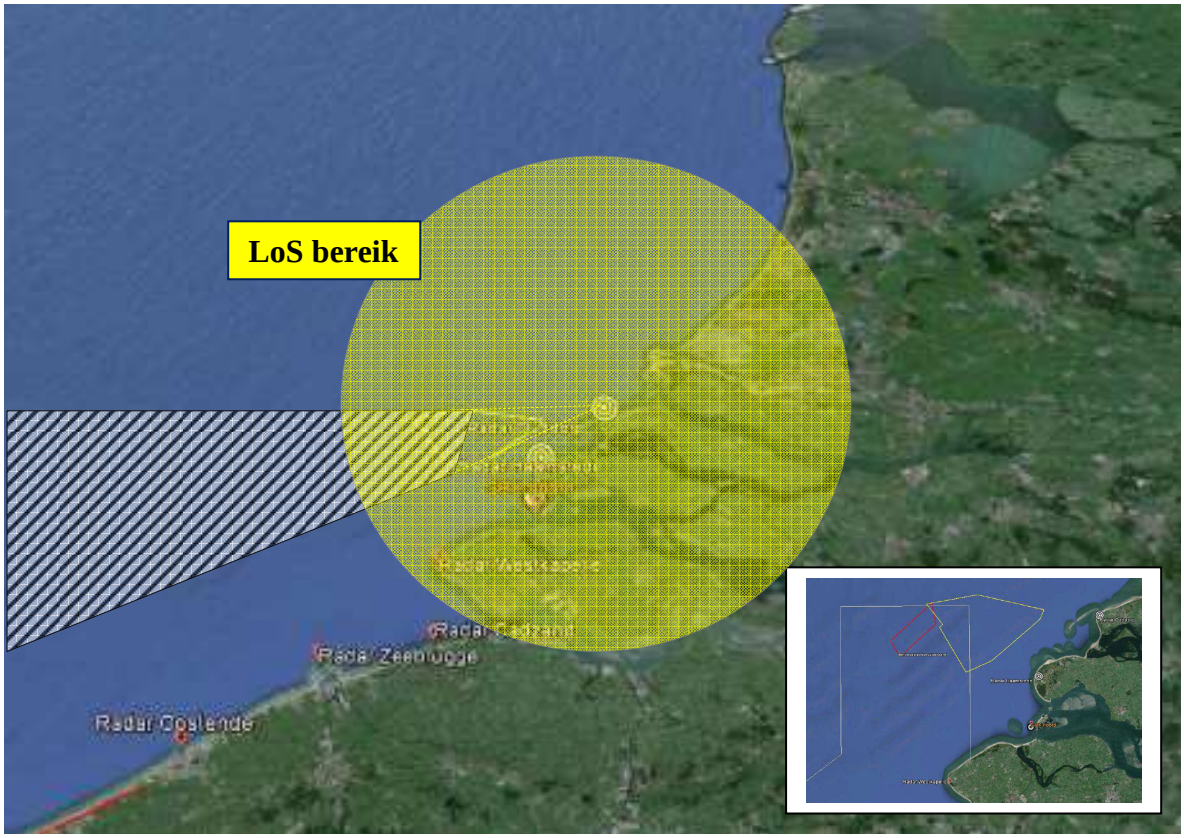
5.1.3. Radar van Ouddorp



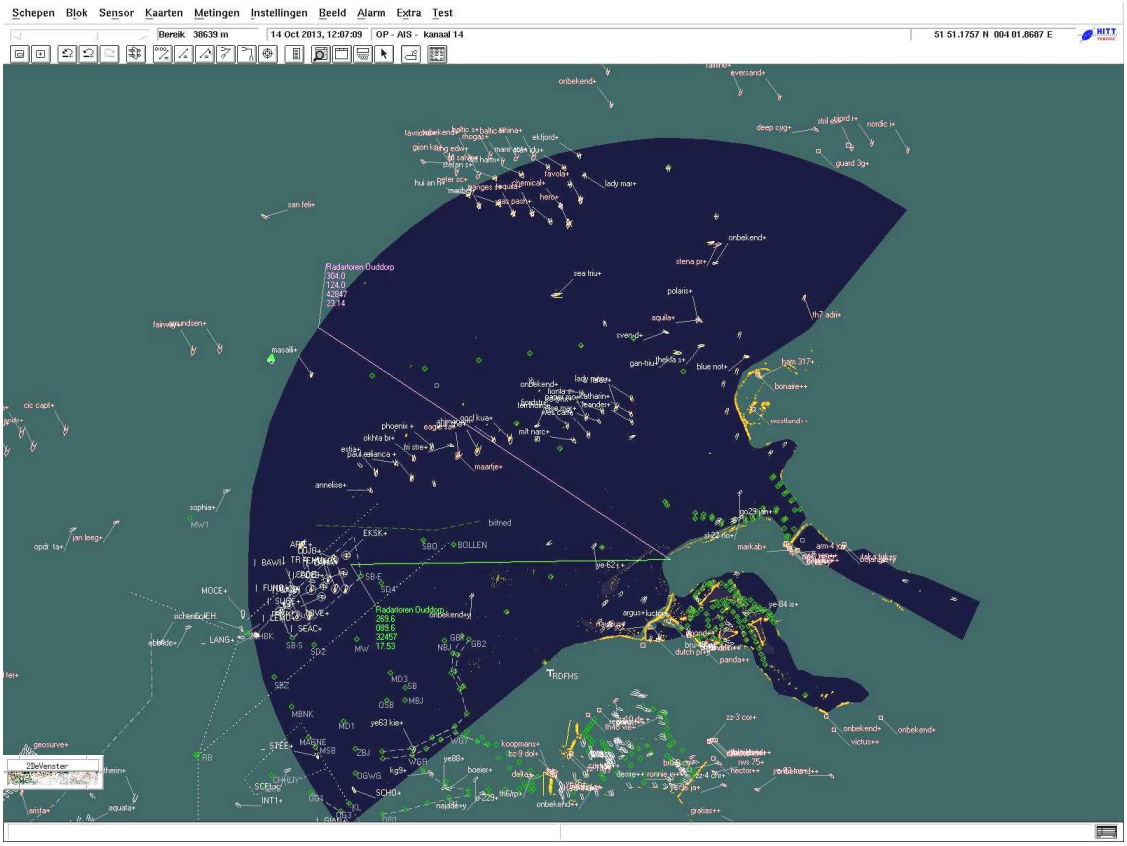
Figuur 24a. Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, Ouddorp



Figuur 24b. Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m, Ouddorp



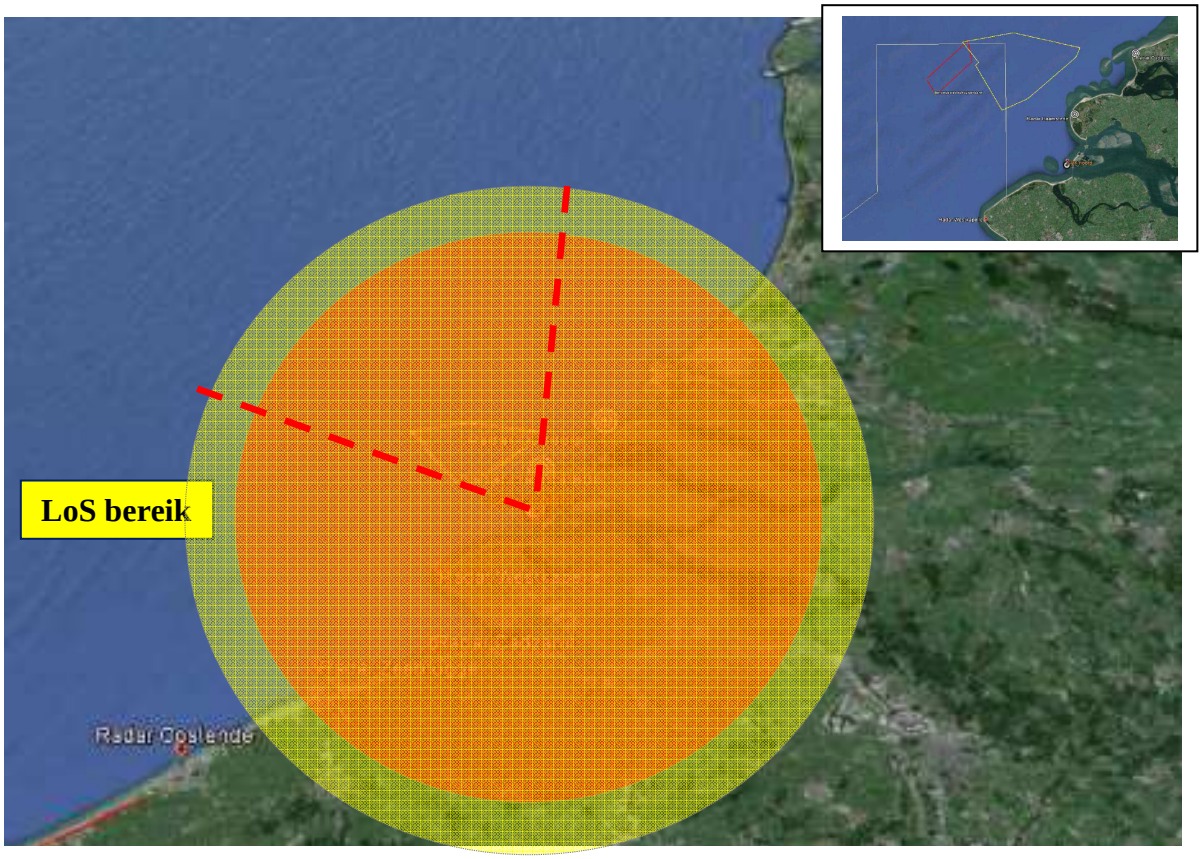
Figuur 24c. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Ouddorp



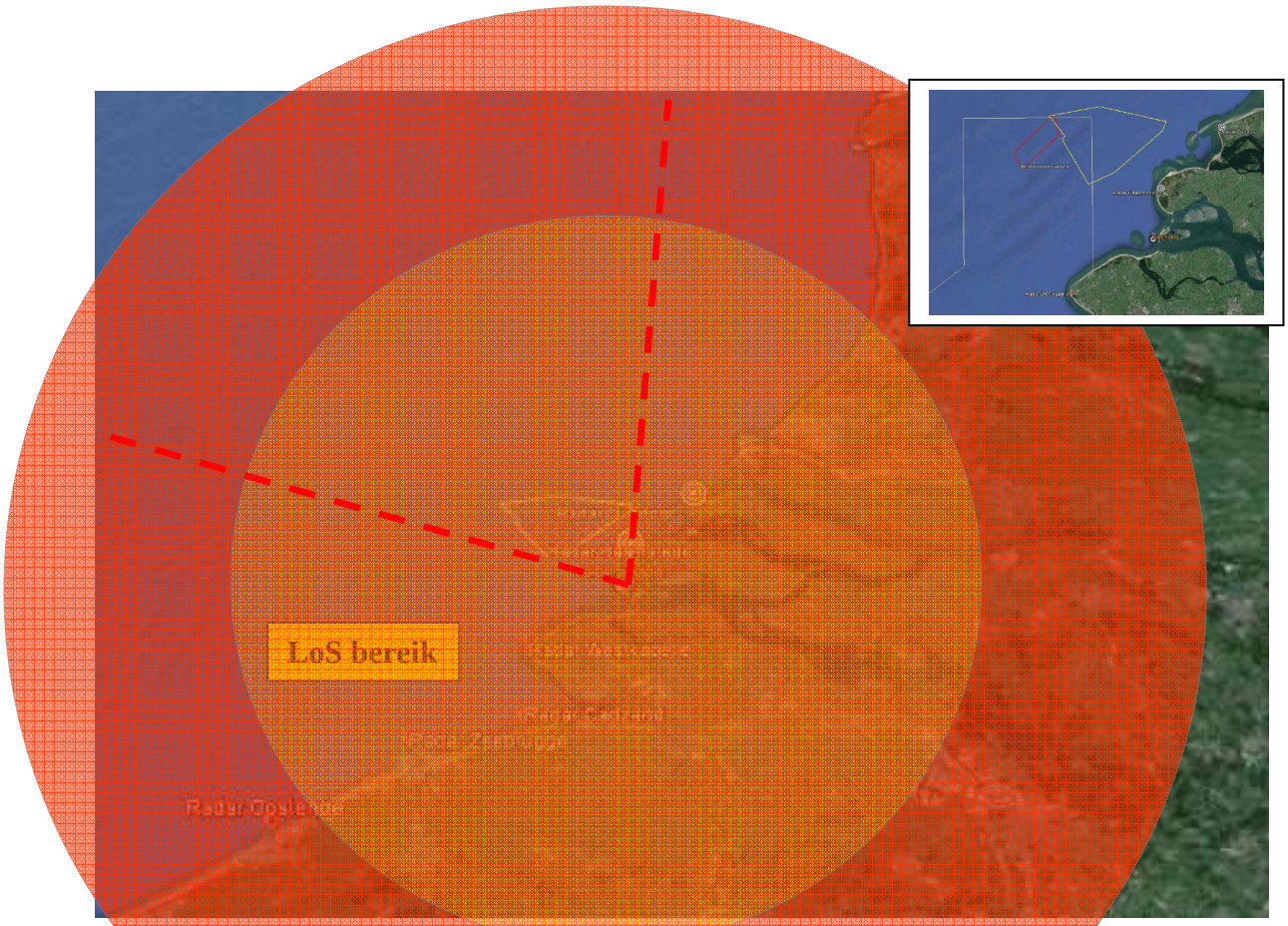
Figuur 24d. Screenshot radar van Ouddorp, oktober 2013

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

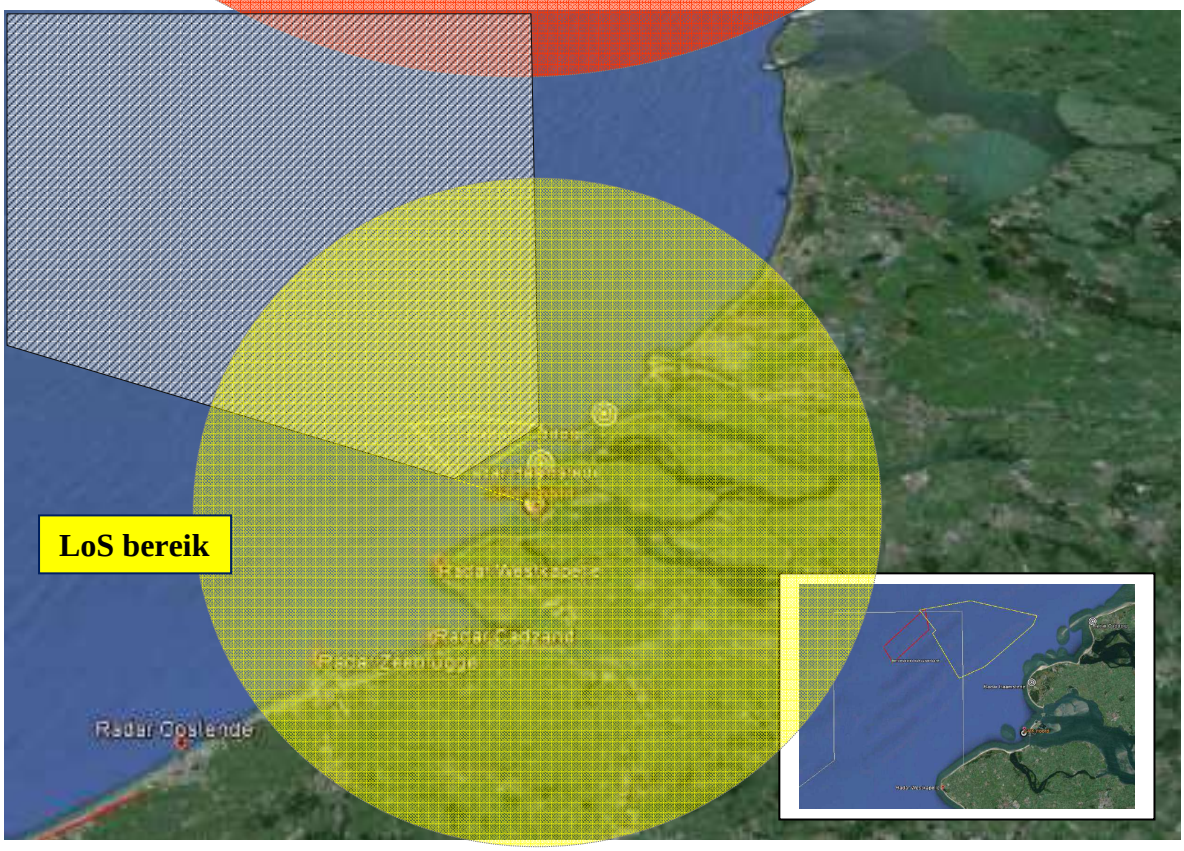
5.1.4.Nieuw radarstation SRK Noord (Neeltje Jans) – in uitvoering



Figuur 25a. Radarbereik bij RCS = 1 m² en een LoS objecthoogte van 3 m, SRK Noord (Neeltje Jans)

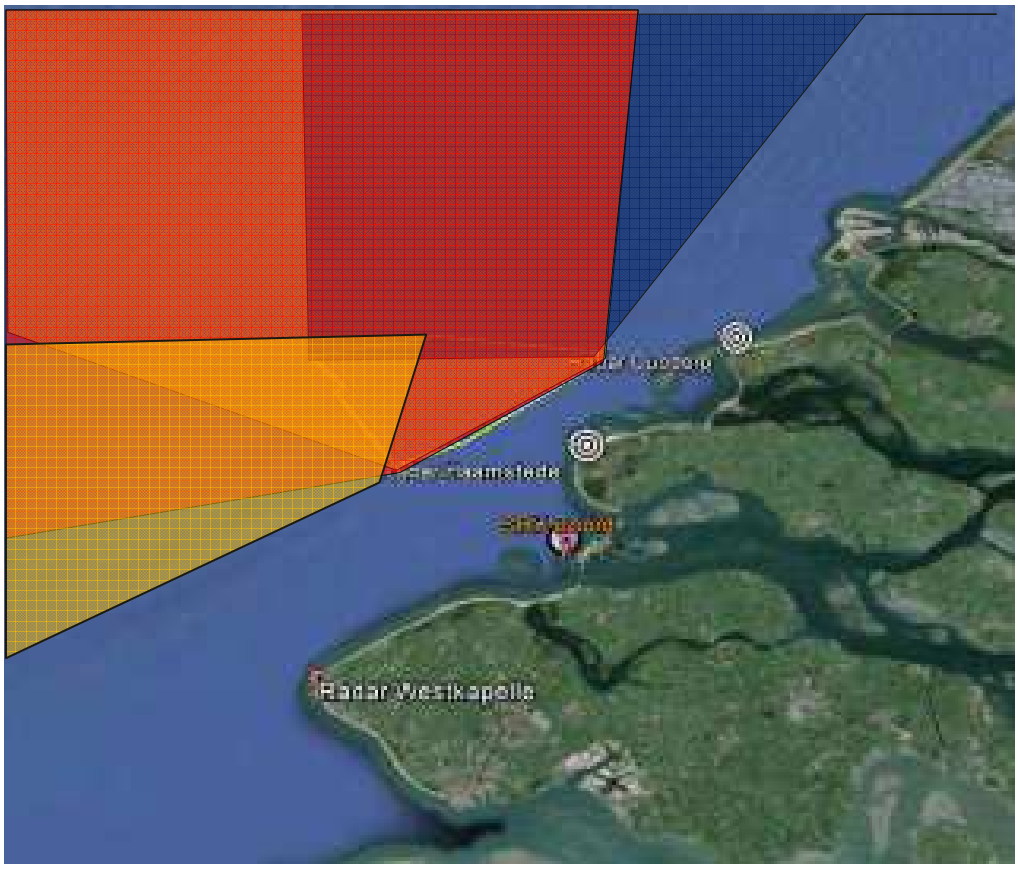


Figuur 25b. Radarbereik bij RCS = 100 m² en LoS objecthoogten van 10 m, SRK Noord (Neeltje Jans)



Figuur 25c. Zone met verminderde gevoeligheid voor het zoekgebied “Schouwen”, radar SRK Noord

5.1.5. Gecumuleerde effecten voor de verschillende radarstations



Figuur 26. Gecumuleerde effecten voor de verschillende radarstations

Eerst en vooral dient opgemerkt te worden dat voor de nieuwe radar SRK Noord (Neeltje Jans) er geen radarblinde zone zal ontstaan, maar toch een zone met verminderde gevoeligheid (of dus reikwijdte), en dat niettegenstaande de hoogte van de radartoren.

Het is duidelijk dat ten noorden en ten westen van het zoekgebied “Schouwen” er een zone ontstaat, waarbij de radardekking onvoldoende wordt naar veiligheid, bij gebrek aan een dubbele dekking door meerdere radarstations. Dit geldt specifiek voor het ankergebied Schouwenbank ten westen van het zoekgebied “Schouwen”.

Het grootste effect aan radarblindheid komt voort van de radar van Haamstede, waarbij het nieuwe radarstation SRK Noord (Neeltje Jans) een gedeelte van de radardekking zal/kan overnemen. Na overleg met SRK (*email 13/10 en overleg 30/10/2013*) blijkt:

‘Alhoewel een gedeelte van de werking van de Radar Haamstede zal overgenomen worden door radar SRK Noord (Neeltje Jans), blijft het station nog steeds een toegevoegde waarde hebben:
- er is vooreerst een dode hoek onder de radartoren van SRK Noord, welke ongeveer 4 km zal bedragen door de hoogte van deze toren en de zeer smalle verticale radarbundel van 2.5°.
- radar Haamstede blijft daarbij een belangrijke rol spelen voor de route naar Rotterdam, en het werkingsgebied Steenbank, met name in het oostelijk deel voor de beloodsing in het gebied Schouwenbank Zuid boei tot aan de noord-zuidlijn Schouwenbank Oost boei naar Domburg.’

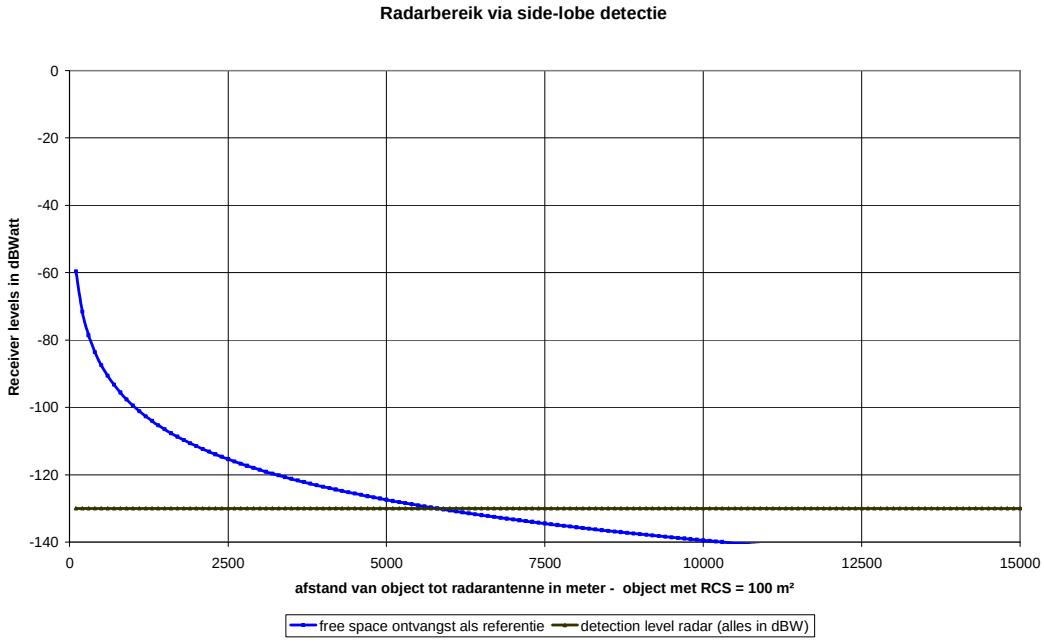
Ook voor het station van Ouddorp dienen deze effecten mee genomen, omdat een grote zone niet meer bereikbaar/zichtbaar zal zijn, wat de begeleiding voor een veilige vaart in het gedrang zal brengen (ook al is dit gebied geen erkend VTS werkingsgebied).

Het is dus duidelijk dat een aanpassing van het SRK radarnetwerk zal nodig zijn om de scheepvaartroutes, en de ankerplaatsen achter het zoekgebied “Schouwen”, op een voldoende veilige manier verder waar te nemen en op te volgen.

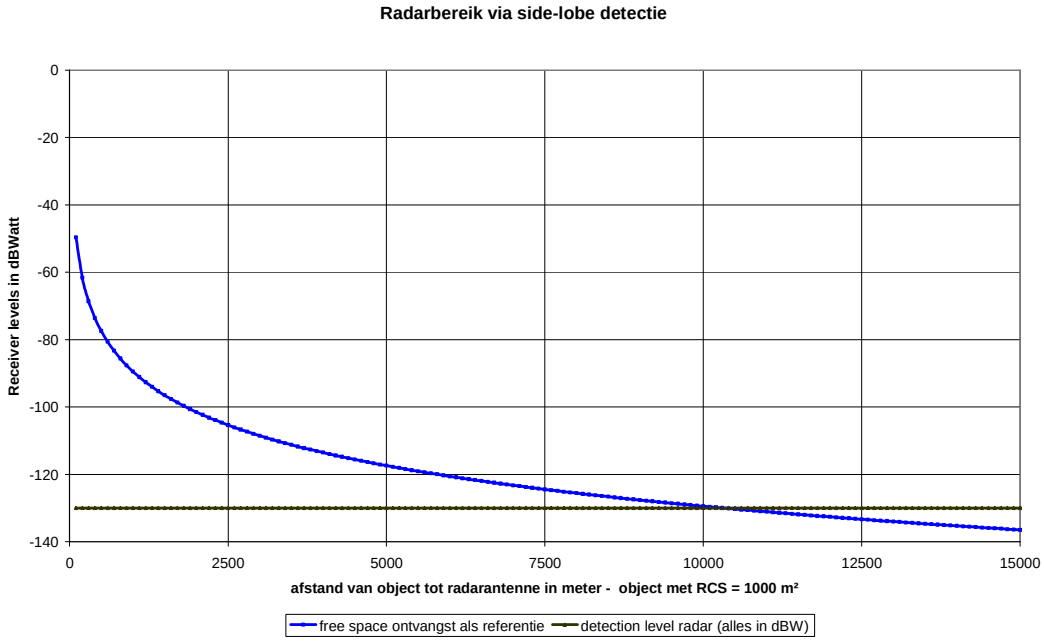
5.2. Mogelijke detectie door zijlobes

Zoals hoger aangehaald kan een detectie door de zijlobes van de radarantenne aanleiding geven tot een valse echo in het radarbeeld. Voor de SRK radars ligt de afstand tussen radarantenne en object waarbij een detectie via de zijlobes (met een zijlobe onderdrukking van 25 dB), mogelijk is tot op maximaal 6 km voor objecten met een RCS van 100 m² en een afstand van 10 km voor objecten met een RCS van 1000 m².

Er zal zich dus geen beeldvorming van de windparken op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de SRK radars.



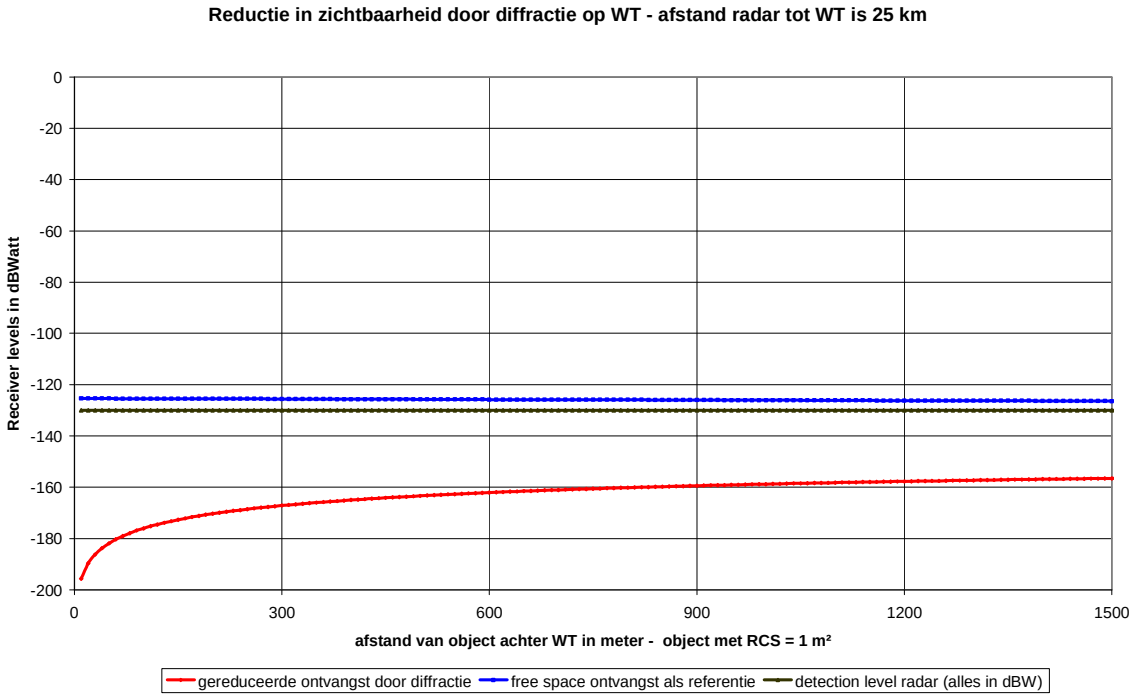
Figuur 27. Gevoeligheid van de radarontvangst via zijlobe detectie, object met RCS = 100 m²



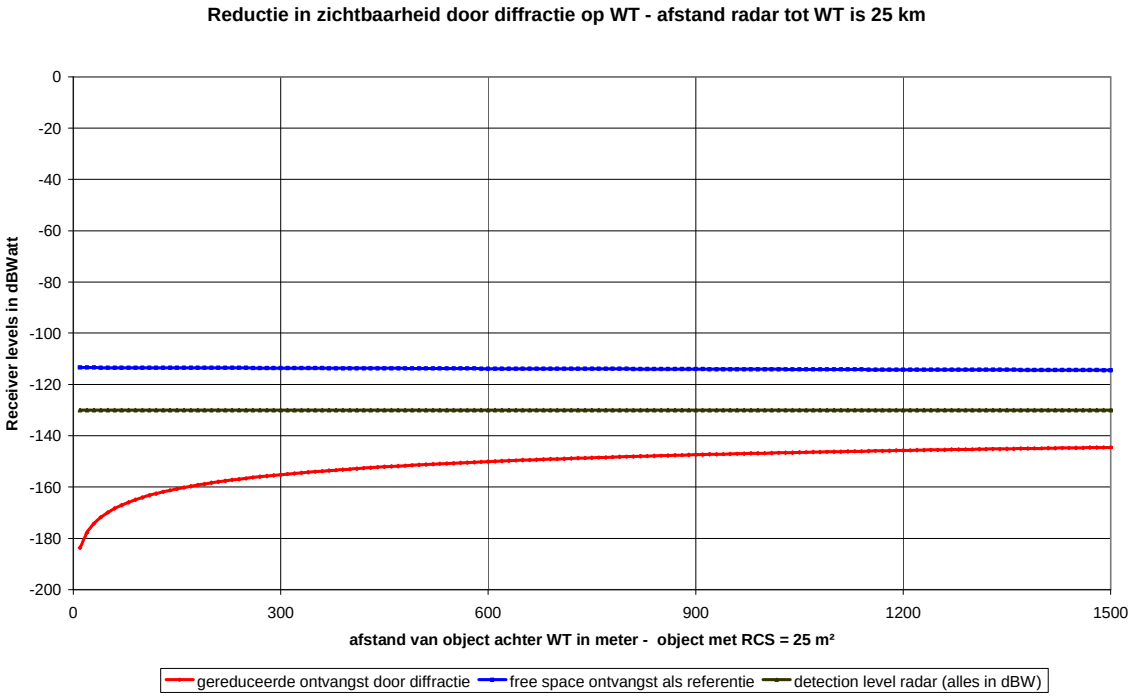
Figuur 28. Gevoeligheid van de radarontvangst via zijlobe detectie, object met RCS = 1000 m²

5.3. Shadowing en dode zones

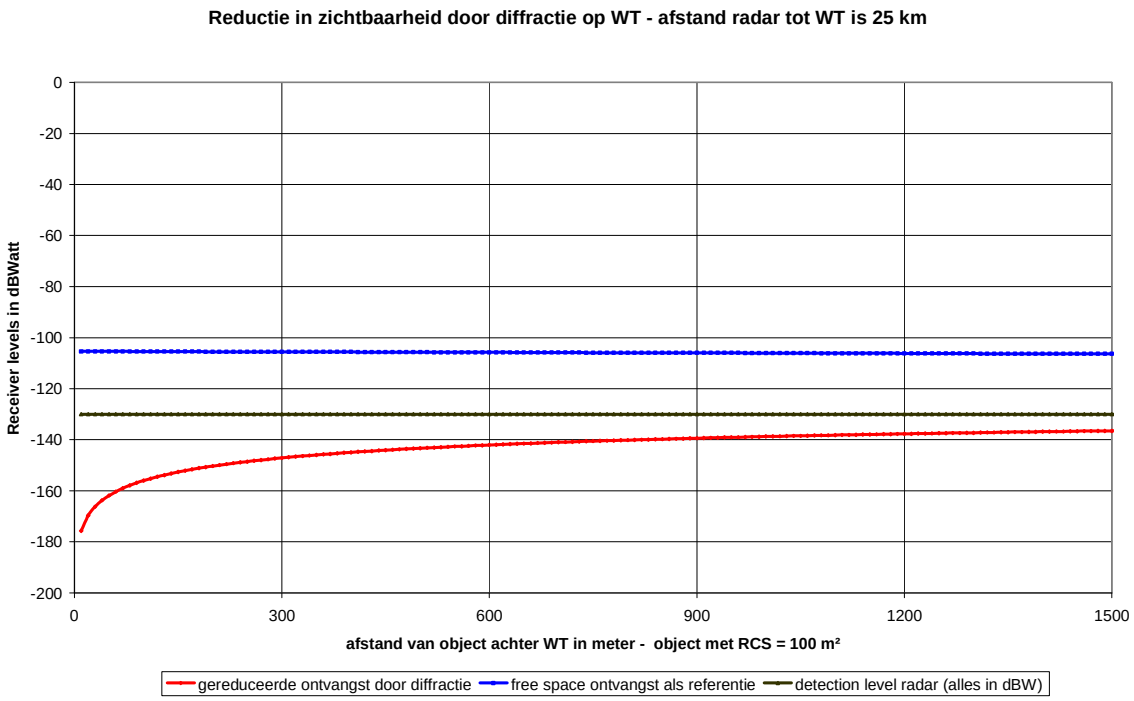
Het optreden van dit effect kan alleen maar wanneer een windturbinepark binnen het werkingsgebied van de radarinstallatie ligt, wat hier het geval is (zie de analyse hierboven in figuren 17 en 18). Door de afstand tussen radarinstallatie en het zoekgebied “Schouwen” spelen zowel de kromming van de aarde als de hoogten van radarantenne en object een rol bij dit effect. Dit levert een variabel LoS bereik op. Een voorbeeld voor één enkele windturbine op een typische afstand van 25 km tot de radar wordt in de figuren 29 gegeven, voor verschillende RCS waarden van schepen of objecten. Een meer gedetailleerde analyse wordt gegeven in annex 2.



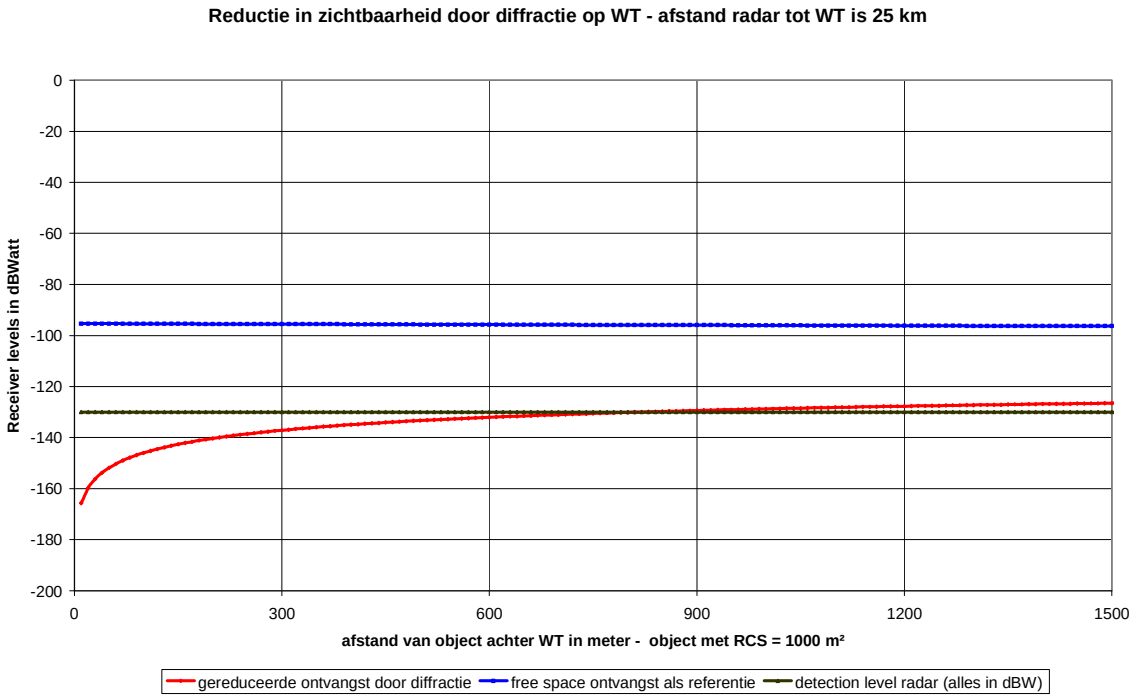
Figuur 29a. Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km, RCS van object 1 m²



Figuur 29b. Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km, RCS van object 25 m²



Figuur 29c. Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km, RCS van object 100 m²

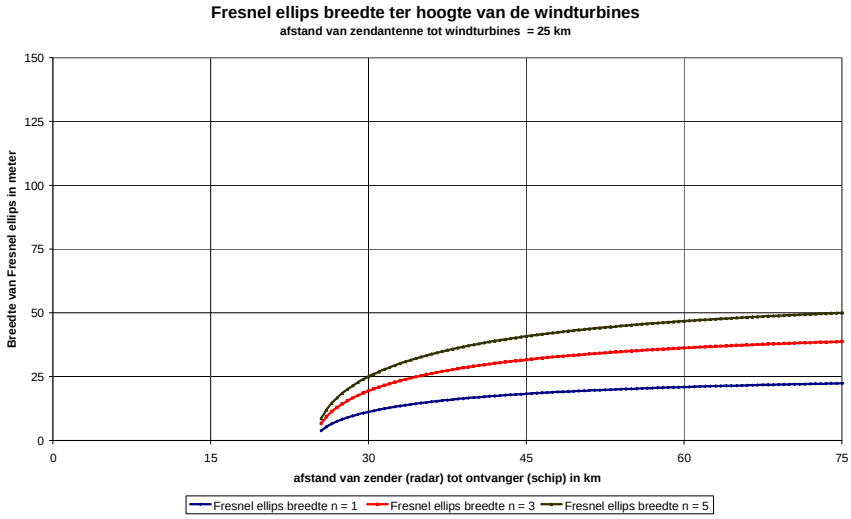


Figuur 29d. Fresnel edge attenuation voor één windturbine op 25 km, RCS van object 1000 m²

Uit bovenstaande grafieken blijkt dus duidelijk dat ook voor grote objecten met een grote RCS waarde, de zichtbaarheid in lijn achter een windturbine verdwijnt, en er dus een dode “lijn” ontstaat. De vraag is nu of er tussen de verschillende turbines van de windparken een voldoende open ruimte is tot vrije propagatie van de radargolven, dan wel dat er rekening dient gehouden te worden met een zekere vorm van clustering.

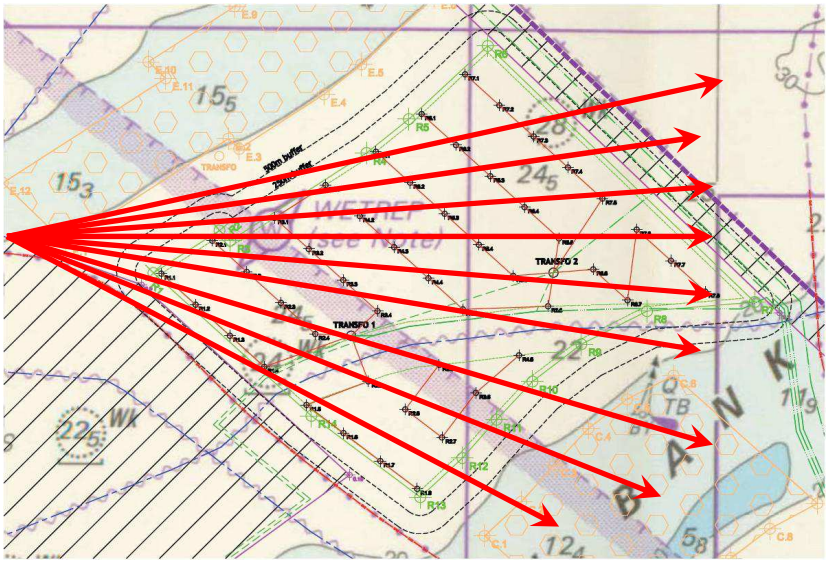
5.4. Vrije Fresnel doorgang doorheen een windturbinepark

Om een voldoende vrij transmissiepad te verkrijgen voor radiosignalen (en radarsignalen) is een vrije ruimte nodig, die kan ingeschat worden aan de hand van de Fresnel ellips. Voor een primaire radar is daarbij geen hoge protectiegraad nodig, en mag de bijhorende parameter n=1 genomen worden. Hieronder wordt deze voorwaarde gegeven voor een afstand tot de radarinstallatie van 25 km. Er blijft een voldoende vrije doorgang behouden indien tussen de windturbines open transmissiepaden voorkomen met een breedte van 50 m (2 x de Fresnel straal).

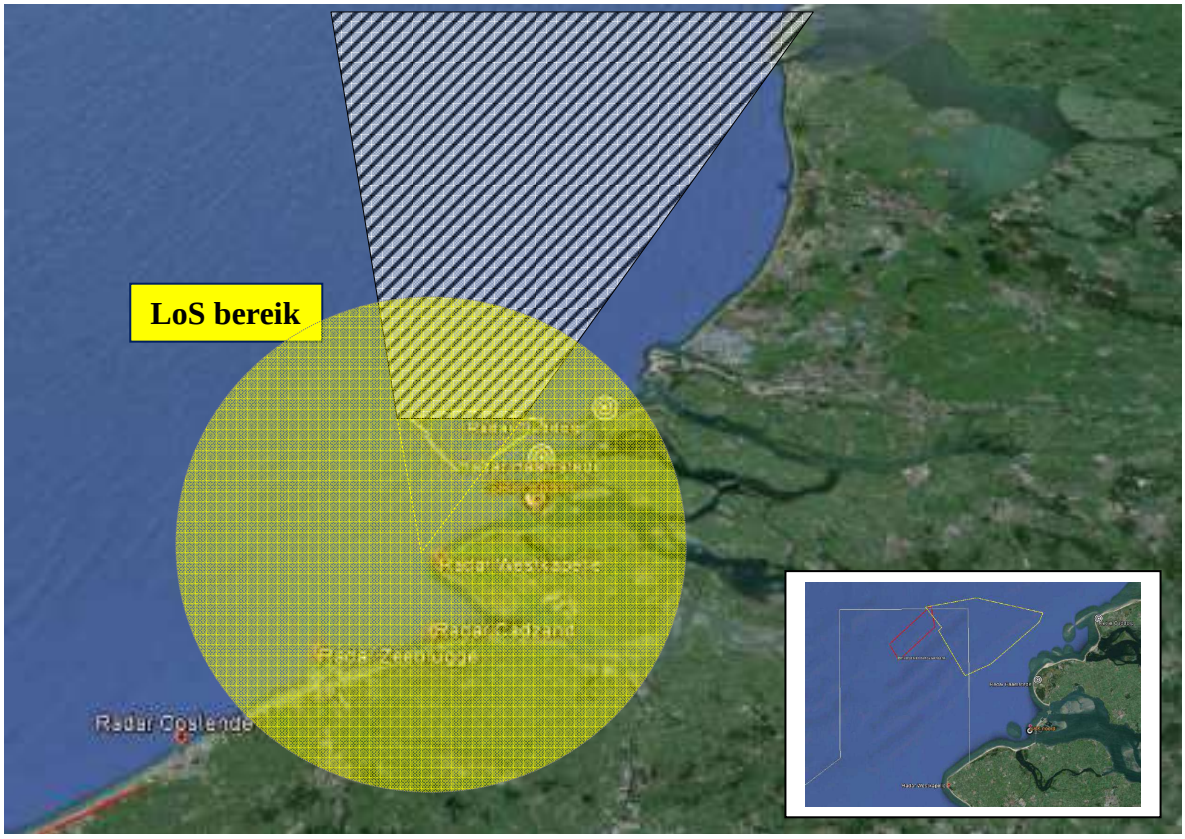


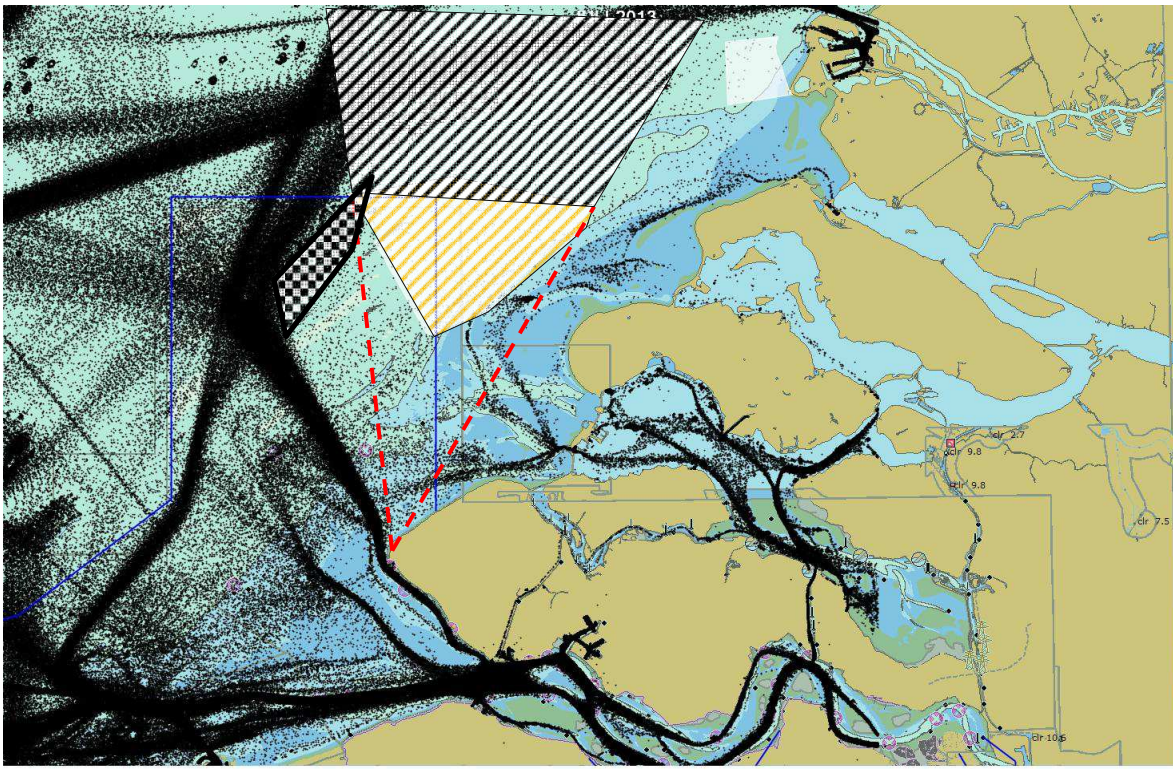
Figuur 30. Fresnel ellips voorwaarden voor vrije radiopropagatie tussen objecten

Gegeven de rotordiameter zullen de windturbines in de parkconfiguratie dus op grotere afstand uit elkaar staan (typisch 4 à 5 rotordiameters), waardoor dus quasi automatisch aan deze voorwaarde voldaan is. De vraag is echter of de windturbines binnenin een windpark opgelijnd staan ten opzichte van de radarinstallaties. Indien dit niet het geval is, zal er toch geen vrij transmissiepad beschikbaar zijn, en dus een zekere vorm van clustering optreden. Dit kan – in functie van de gekozen inplanting van de windturbines binnen het projectgebied - effectief optreden, maar is op het ogenblik van deze studie niet bekend. Daardoor wordt een worst case benadering gebruikt, met een clustering van windturbines. Maar waarbij wel het eenvoudige Fresnel edge model gebruikt wordt (zie ook annex 3). De resulterende attenuatie zoals in paragraaf §5.3. besproken, zal zich daarbij over de volledige breedte van het projectgebied voordoen.

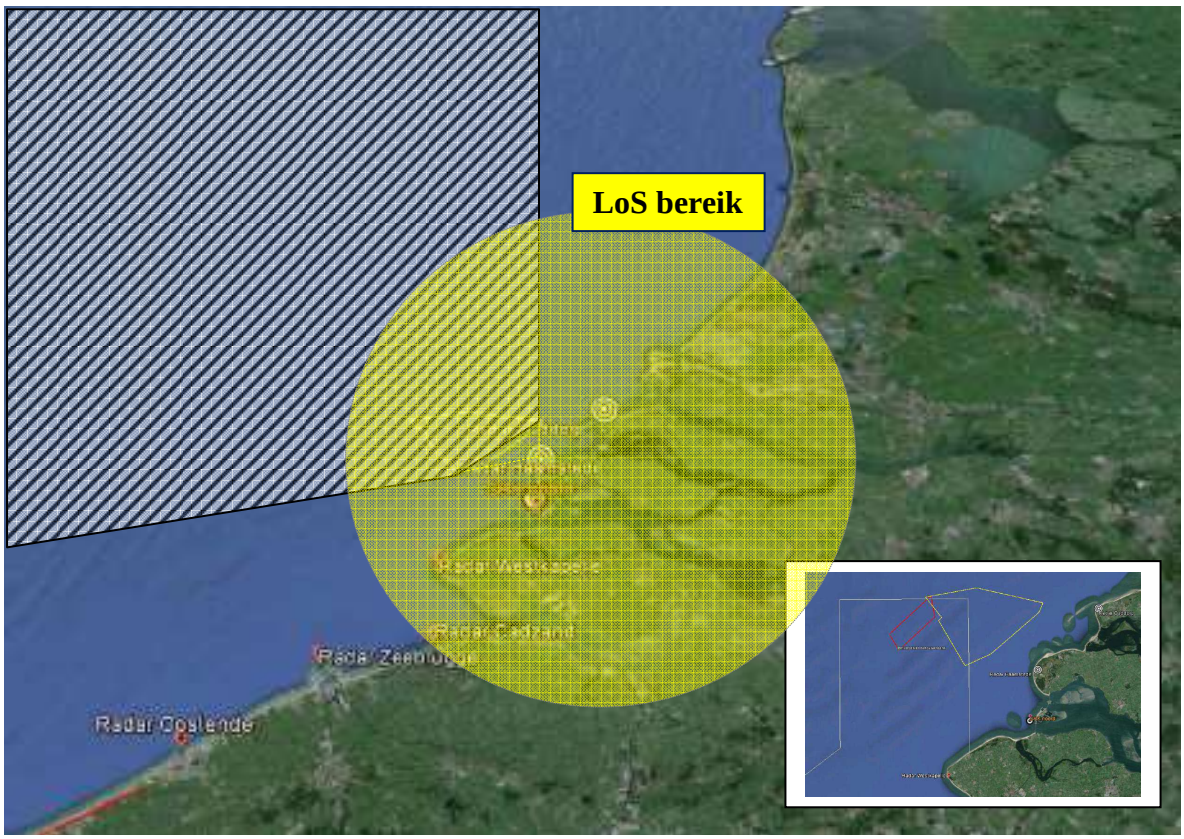


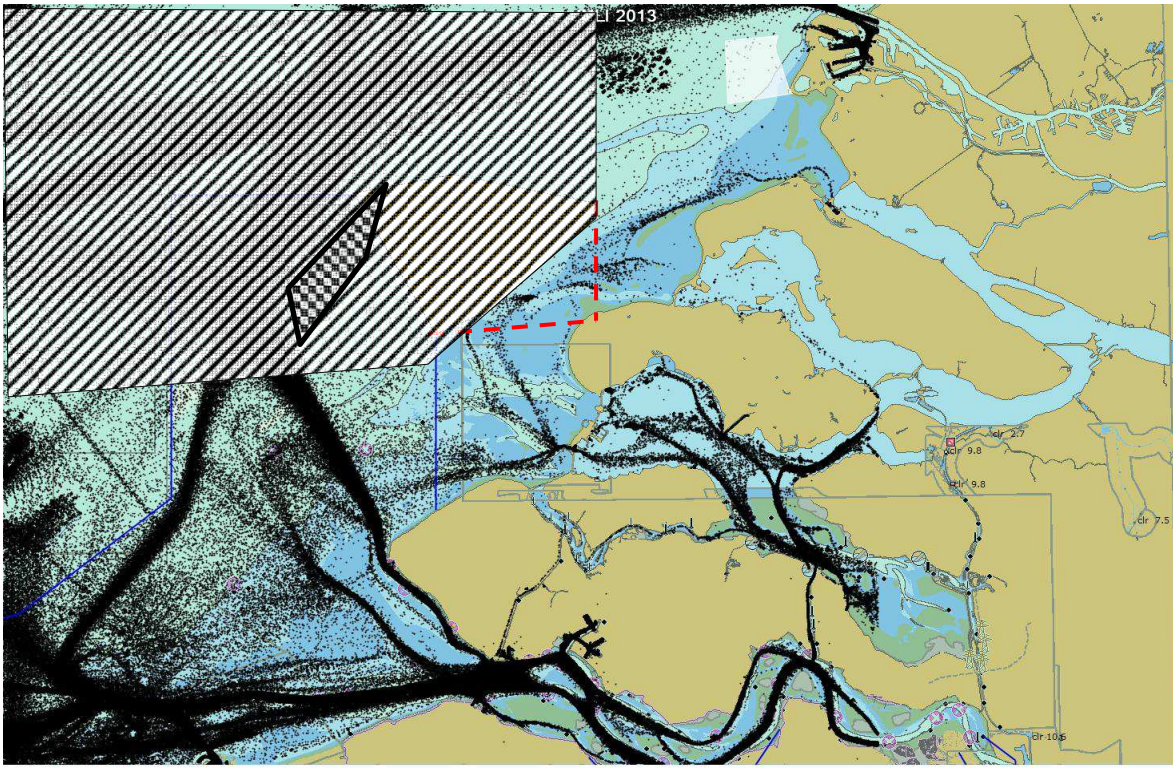
Figuur 31. Voorbeelden van een “clustering” bij meerdere niet-opgelijnde windturbines



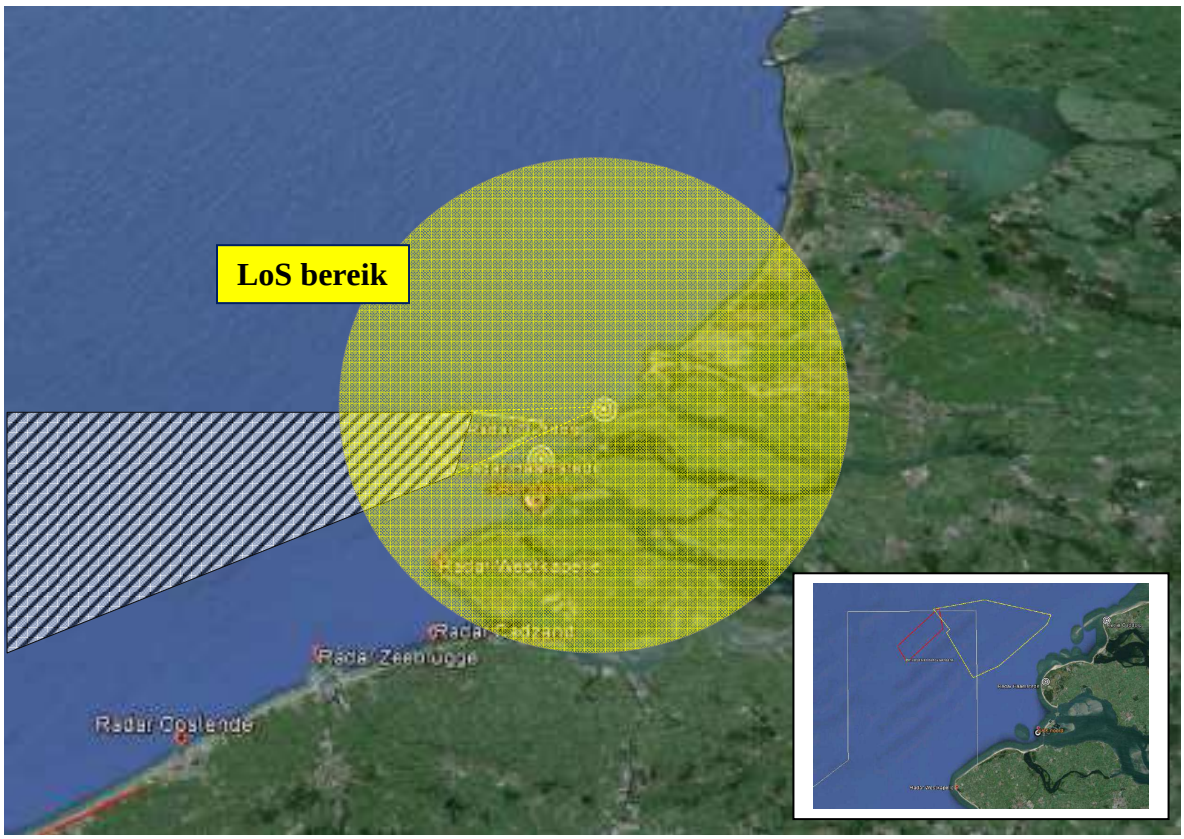


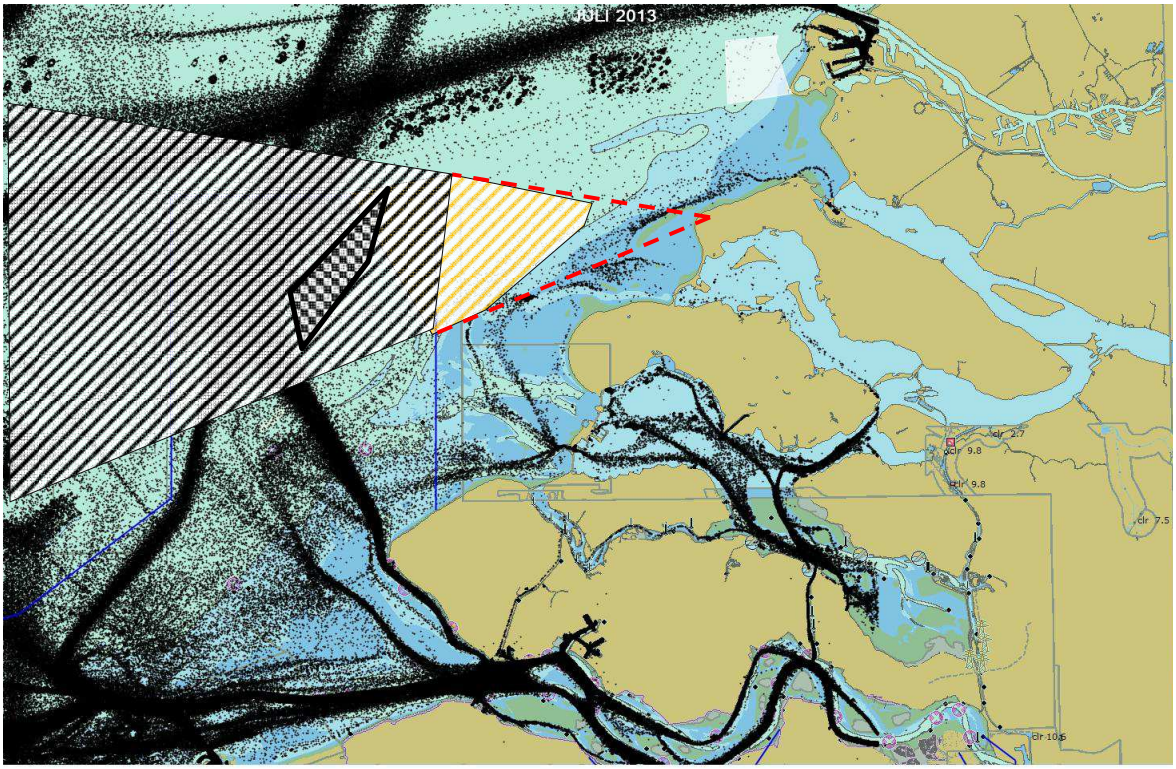
Figuur 32a. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Westkapelle



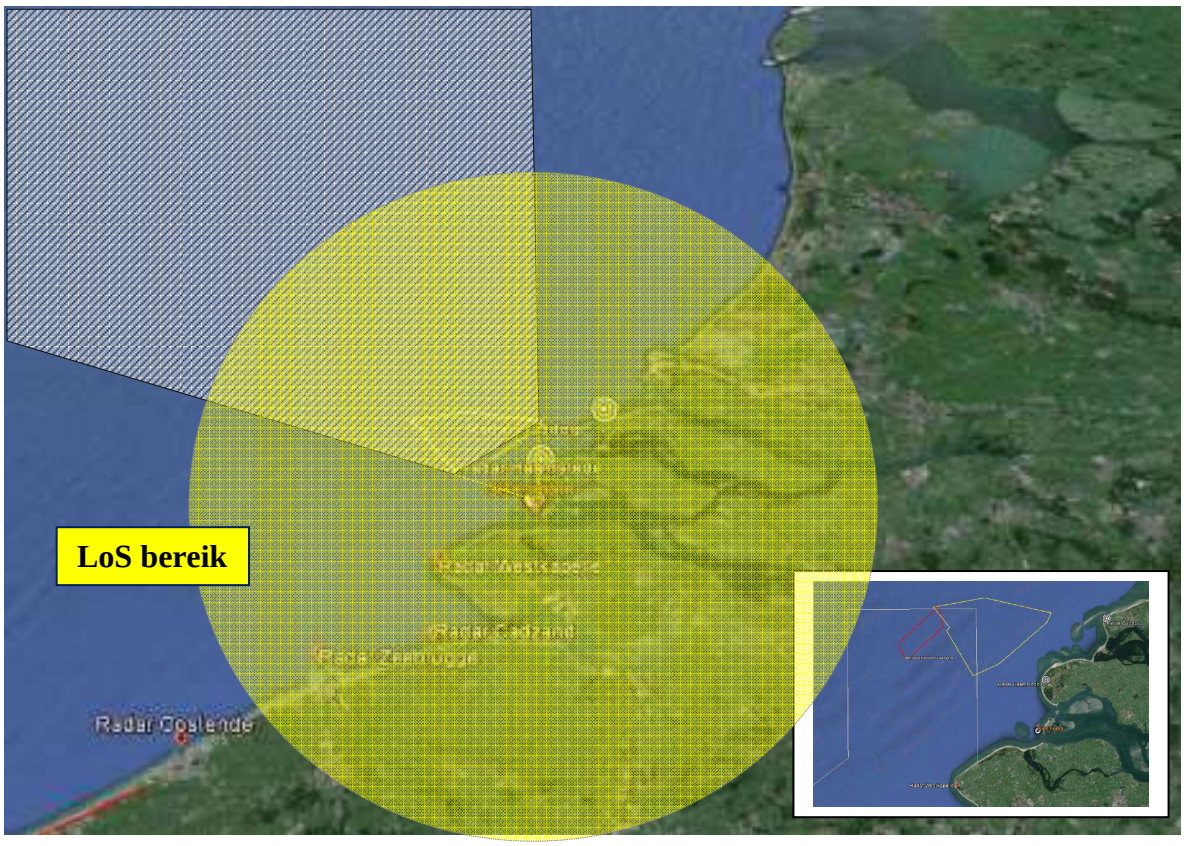


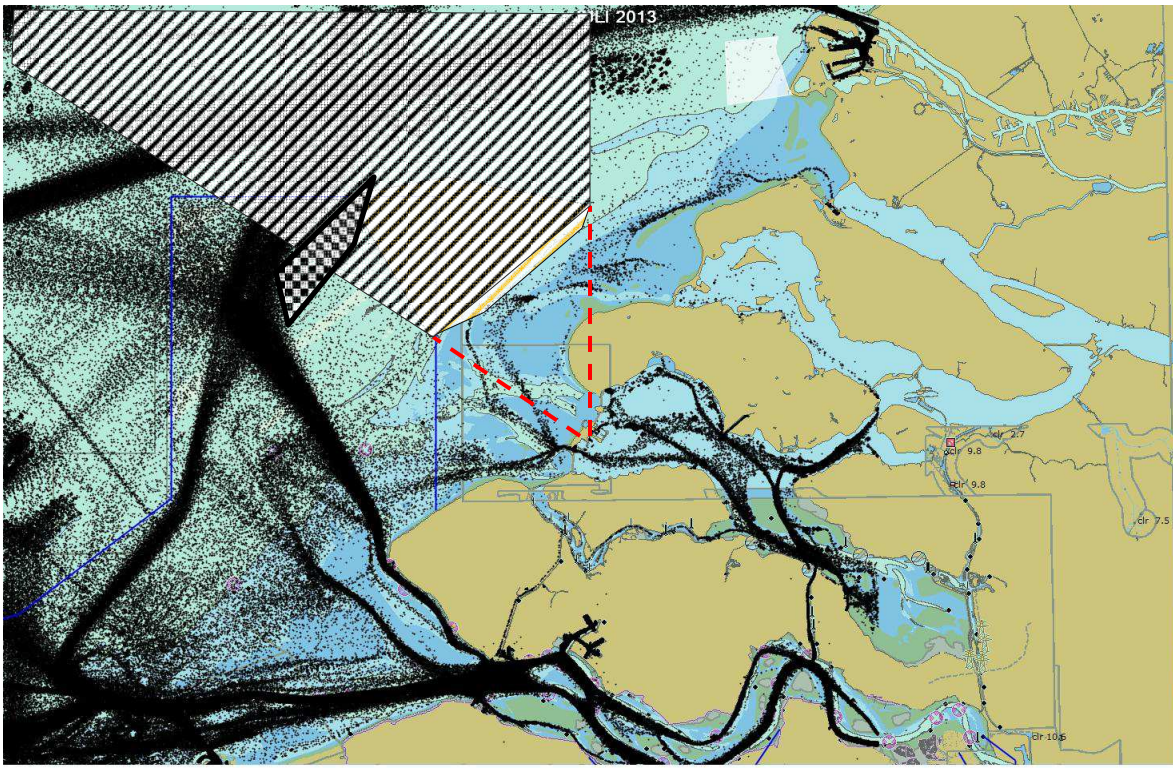
Figuur 32b. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Haamstede





Figuur 32c. Radarblinde zone voor het zoekgebied Schouwen, radar van Ouddorp



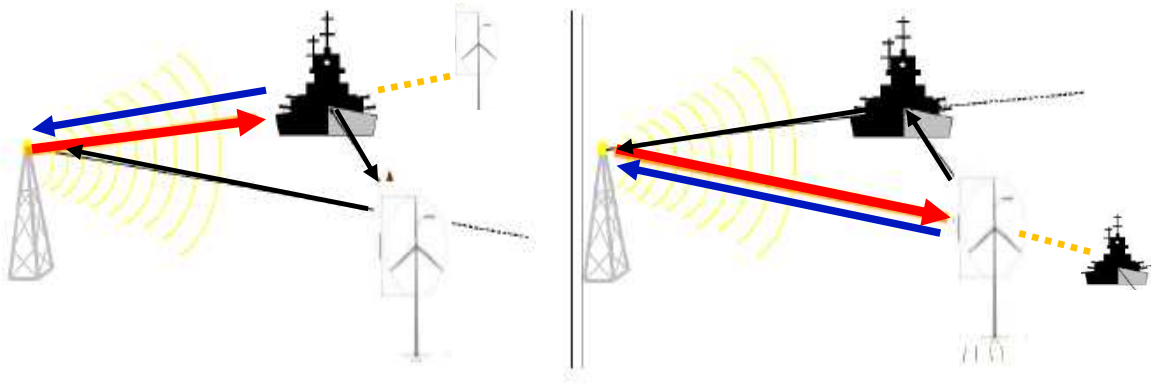


Figuur 32d. Zone met verminderde gevoeligheid voor het zoekgebied Schouwen, radar van SRK Noord (Neeltje Jans)

Het is dus duidelijk dat er niet alleen een gedeelte van het officiële werkingsgebied van SRK niet meer afgedekt kan worden, maar dat ook een groot gedeelte van de scheepvaartroutes niet meer opgevolgd kan worden, waarbij ook het ankergebied Schouwenbank expliciet dient vermeld te worden.

5.5. Meervoudige reflecties en valse echo's

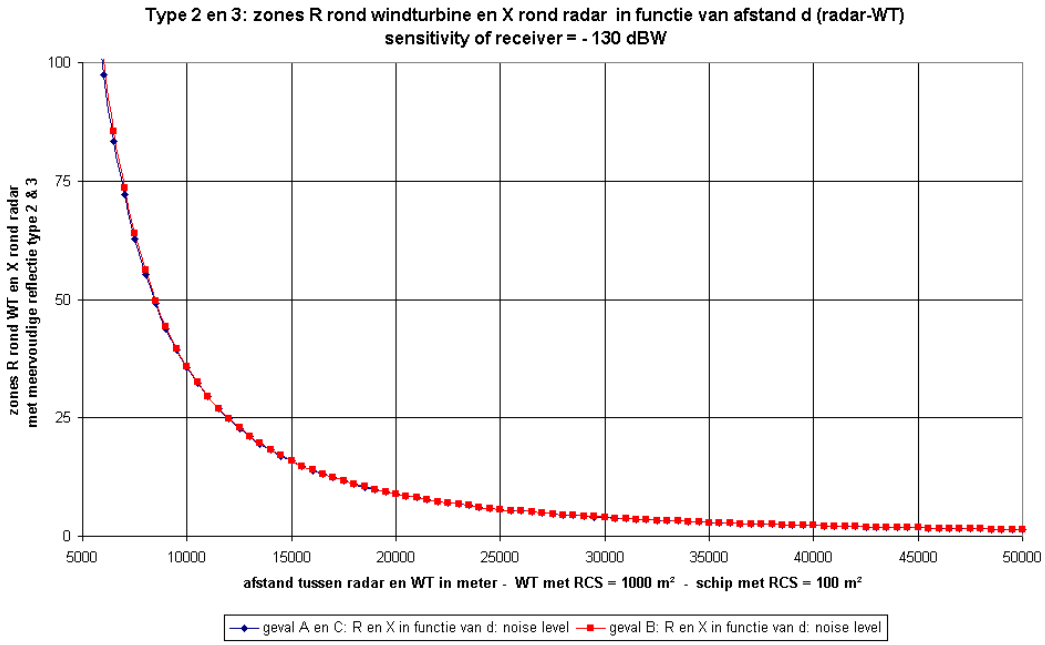
Meervoudige reflecties, en de bijhorende valse echo's komen voor door een rondgaande reflectie, die op een later tijdstip een tweede reflectie genereert en dus een vals echobeeld zal geven. Uit vorige studies en analyses (zie ook studies en aanbevelingen voor ATC van Eurocontrol), zijn maar twee types van meervoudige reflecties belangrijk. Deze worden schematisch weergegeven in figuur 33, 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.



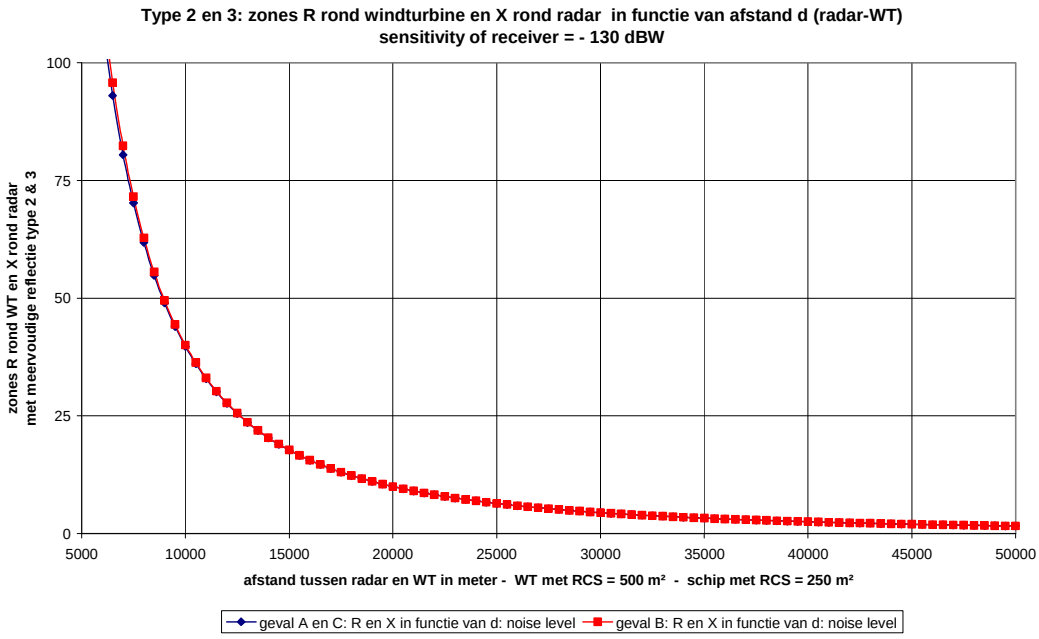
Figuur 33.Schematische voorstelling van meervoudige reflecties

De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een windturbine op een afstand van 5 km tot 50 km van de radarinstallaties, voor een tweetal combinaties van verschillende RCS waarden voor een windturbine en het betreffende schip.

In het geval A bevindt het schip zich achter de radarantenne, in het geval C bevindt het schip zich voorbij de windturbine en in het geval B bevindt het schip zich tussen radar en schip.



Figuur 34a. Zones rond de windturbines waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan



Figuur 34b. Zones rond de windturbines waarbinnen meervoudige reflecties kunnen ontstaan

Deze zones bedragen dus voor een object op een afstand van 25 km ongeveer 10 m.

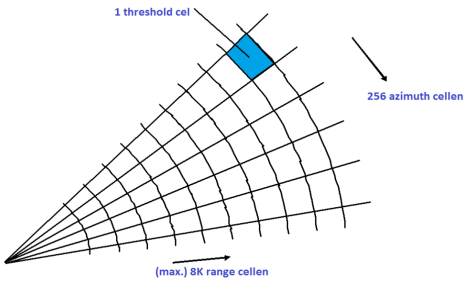
Het mogelijke effect van meervoudige reflecties en valse echo's (of extra beeldvorming) is dus voor deze afstanden tussen windparken voor het zoekgebied "Schouwen" op zee en de SRK radarinstallaties aan de wal onbestaande.

5.6. Mogelijke clutter door draaiende rotor en interne reflecties binnen het windpark

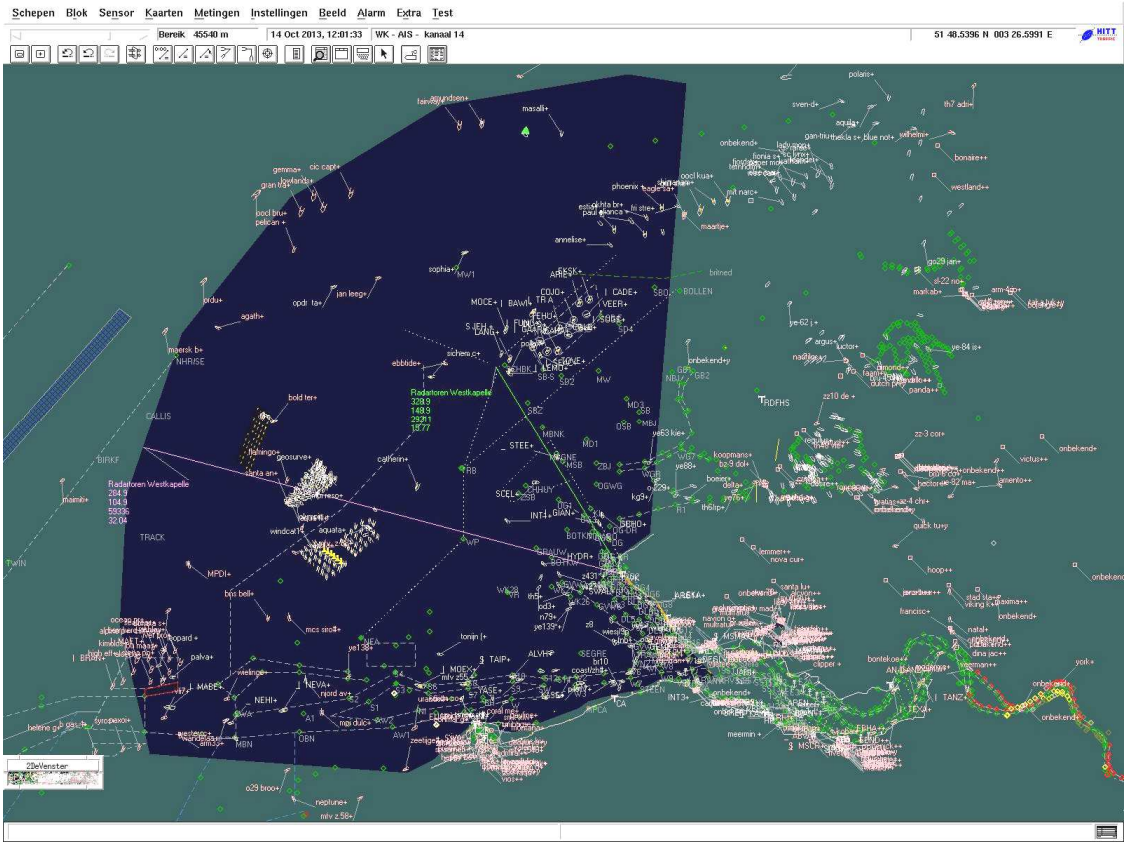
Clutter ontstaat door een continu tijdsvariabele reflectie binnen een waarnemingscel. Typisch voor de scheepvaart zijn de wisselende reflecties van de golven. Voor de onderdrukking van deze effecten werden specifieke algorithmes ontwikkeld voor zeeclutter.

Omdat op grote afstand ("achter de horizon") de rotor van een windturbine toch een aanzienlijke bijdrage levert aan de reflectie, kan hierdoor ook een eigen type clutter ontstaan, en ook een maskering van kleinere objecten door de grotere RCS waarde van de windturbine. Deze effecten zijn bij toepassingen voor de waarnemingen op zee echter niet van belang, en dat in tegenstelling met de luchtvaartbegeleiding. Fysisch kan het inderdaad niet voorkomen dat een schip zich in dezelfde waarnemingscel bevindt als een windturbine, noch in aanliggende cellen (behalve schepen voor onderhoudswerkzaamheden).

Dit blijkt ook duidelijk uit een aantal screenshots van de radarwaarnemingen. Alhoewel een druk scheepvaartverkeer te zien is bij een algemeen beeld (figuur 36), zal deze clutter geen effect sorteren bij een voldoende veiligheidsafstand van de scheepvaartroutes.
Op te merken in dit verband is dat de SRK radars een typische tangentiale resolutie hebben van 200 m op 25 km afstand, met een diepte resolutie van 50 m.

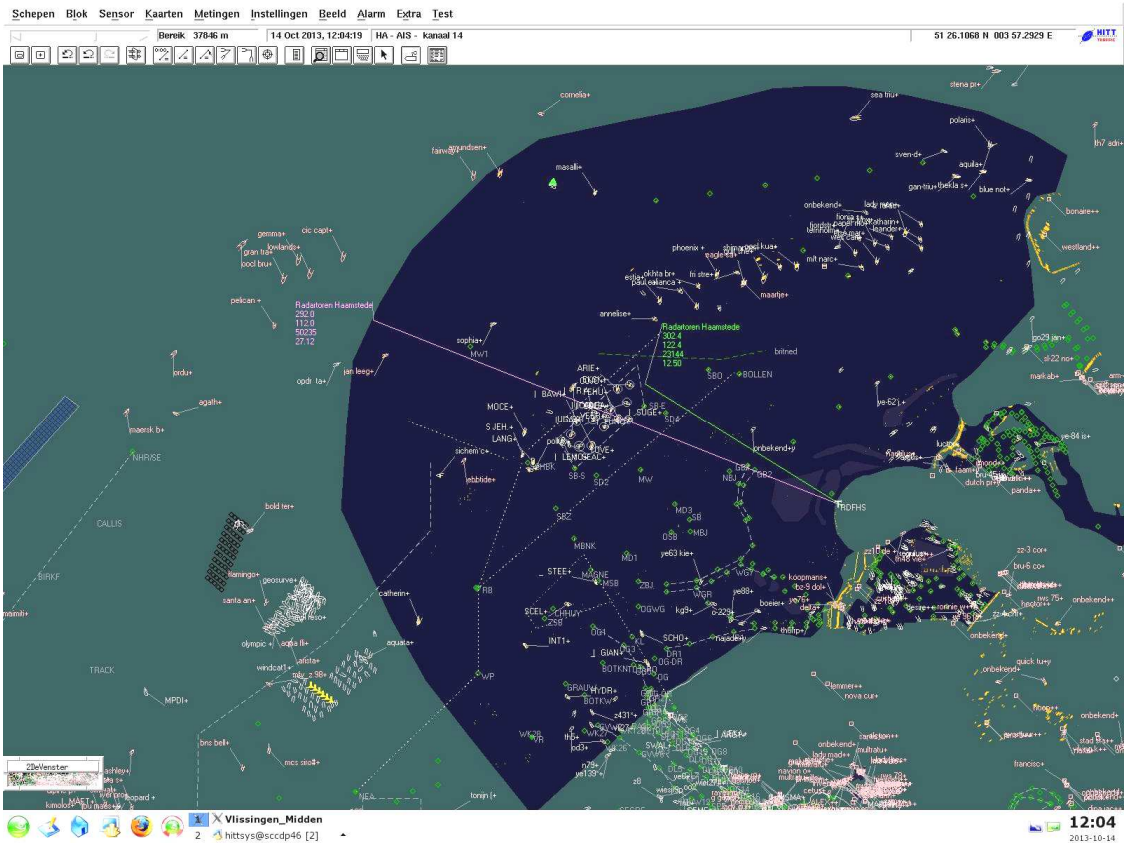


Figuur 35. Waarnemingscellen van een radar



Figuur 36a. Screenshot – algemeen beeld van het scheepvaartverkeer, radar Westkapelle

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

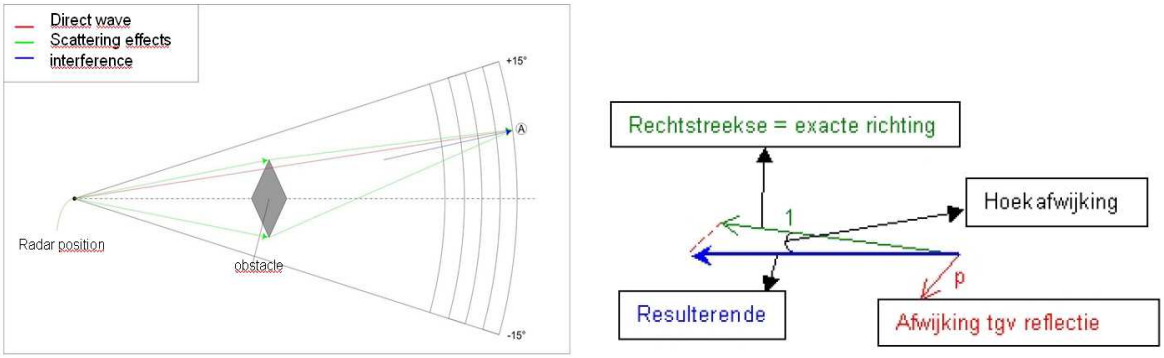


Figuur 36b. Screenshot – algemeen beeld van het scheepvaartverkeer, radar Haamstede

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

5.7. Hoekafwijking door multipath propagatie en diffractie

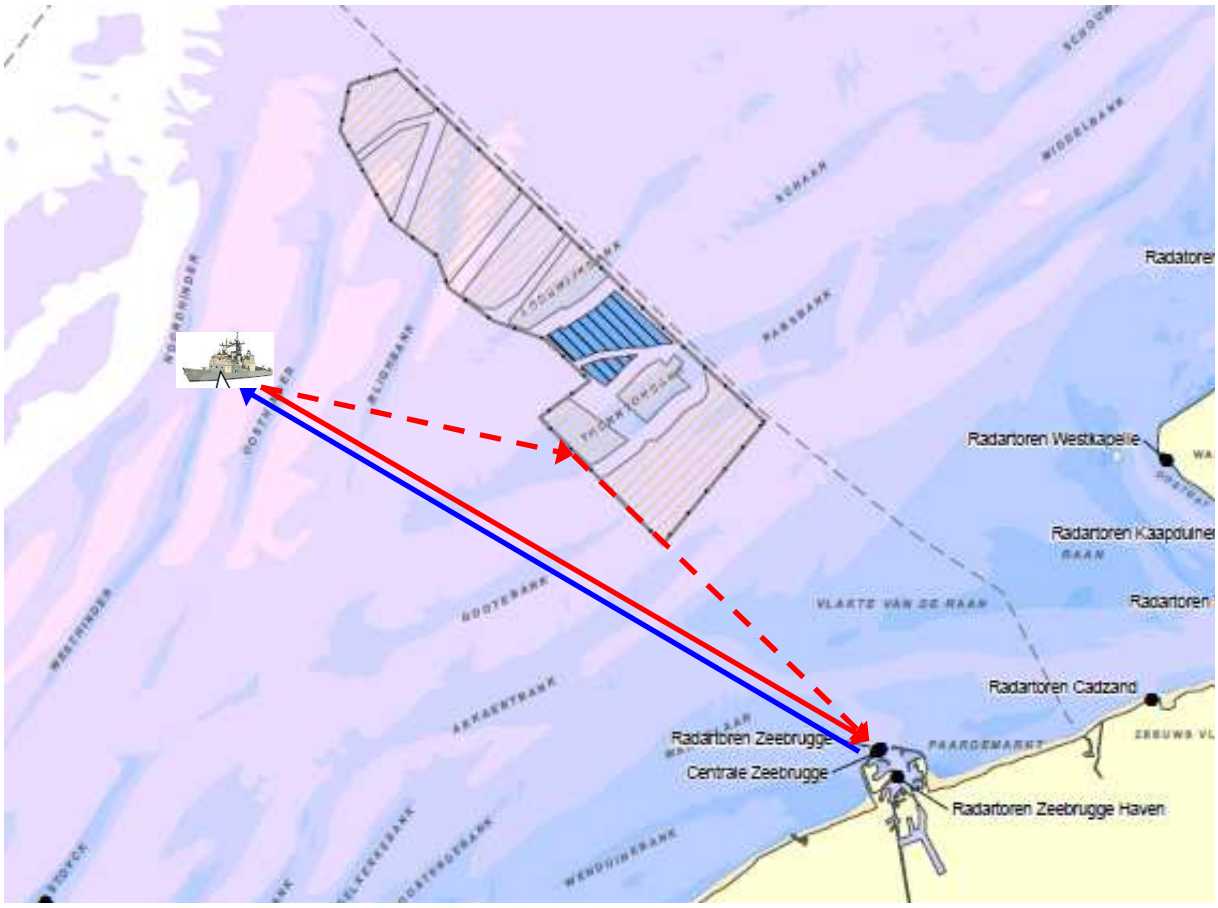
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Dit wordt schematisch aangegeven in figuur 37.



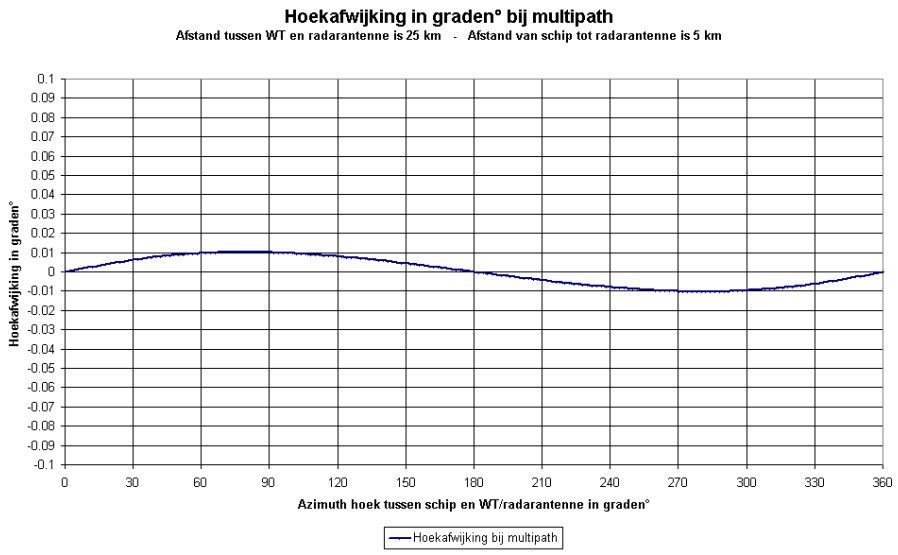
Figuur 37. Schematische voorstelling van range en azimuth errors door multipath effect door diffractie

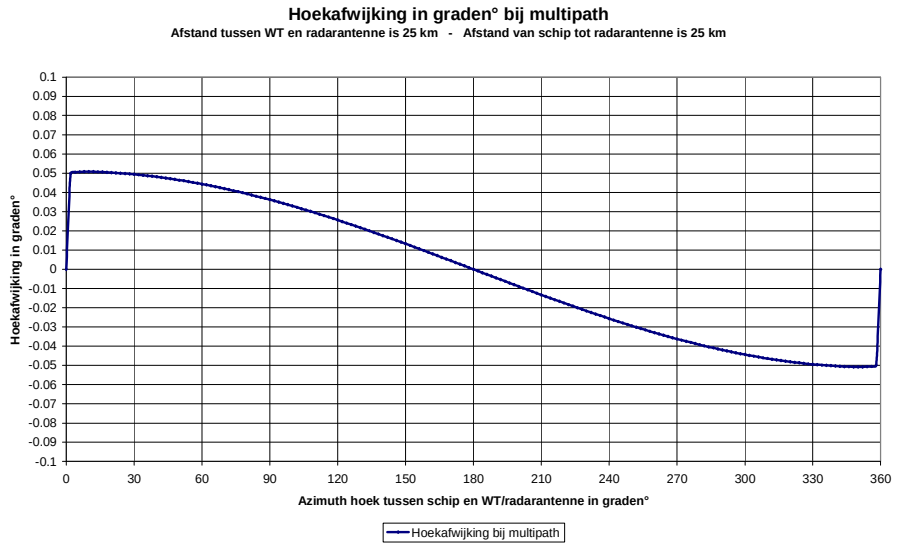
Uit voorgaande analyses is het duidelijk dat een fout op de waarneming van een object achter een windturbine niet dient in aanmerking genomen te worden, omdat deze radarsignalen reeds voldoende gedempt zijn (zie hoofdstuk 5.3. bovenstaand).

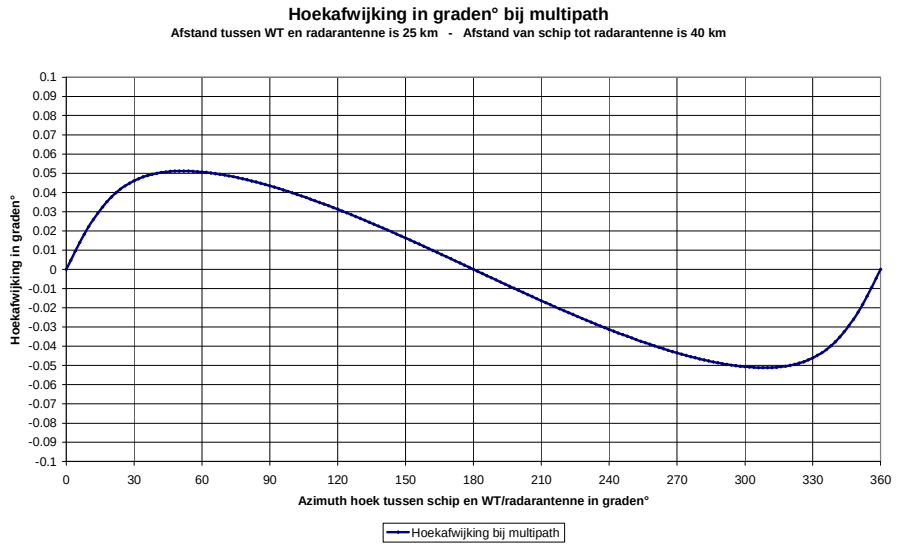
In de volgende grafieken (figuren 39) wordt de hoekafwijking gegeven ten gevolge van een mogelijke multipath propagatie door reflectie van een gediffracteerde radarbundel op een windturbine voor verschillende combinaties van afstand tussen windparken en radar en voor verschillende liggingen van het schip. Dit mechanisme wordt in de onderstaande figuur 38 geschetst, voor het concrete geval van het windpark C-Power op het BCP.



Figuur 38. Principeschets van multipath door reflectie op een windturbine (vb. bij C-Power windpark)







Figuur 39. Hoekafwijking door multipath propagatie voor een windpark op 25 km

Uit de analyse volgt dat de hoekafwijking verwaarloosbaar is (< 0.1°), zelfs bij grote RCS waarden van 500 m² voor de betreffende windturbine die het indirecte signaal genereert.

6. Impactanalyse en cumulatieve effecten op de scheepsradar

Een scheepsradar heeft typisch een piekvermogen van 10 kW. Een typische frequentie is 9410 MHz +/- 30 MHz. Voor de eenvoud van berekeningen wordt in deze studie een frequentie van 10 GHz aangehouden (golflengte 3 cm).

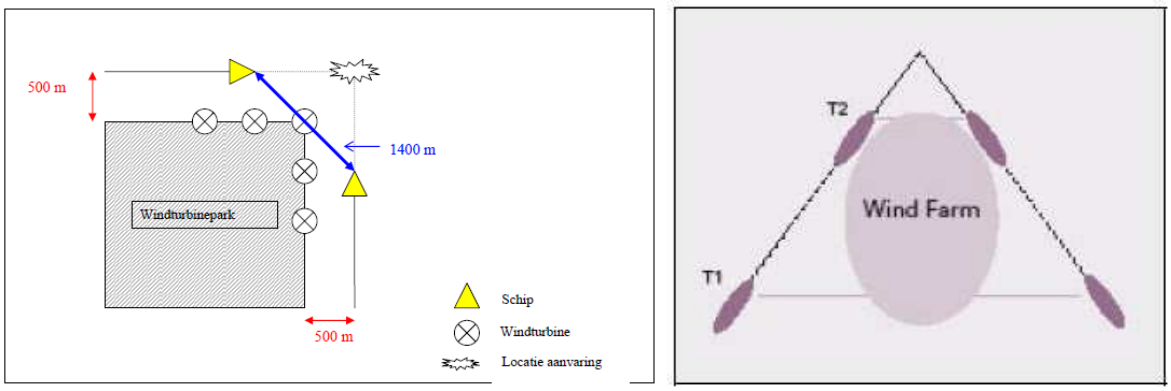
Een typische scheepsradarantenne heeft daarbij de volgende karakteristieken:

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

Afhankelijk van de hoogte van de radarantenne aan boord van de schepen, zal het bereik groter of kleiner zijn door de invloed van de kromming van de aarde. Daarom worden in dit rapport drie hoogtes voor de scheepsradarantenne genomen: 5 m , 10 m en 25 m. Meestal worden deze antennes op één van de scheepsmasten gemonteerd.

Figuur 40. 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 windparken. Hierbij worden twee types scheepvaartverkeer verwacht: van en naar (onderhoudswerkzaamheden) windparken, en rondom windparken. Voor dit scheepvaartverkeer in de nabijheid van windparken is het van belang dat schepen die zich binnen of achter een windturbinepark bevinden goed en snel kunnen waargenomen worden.



Figuur 41. Voorbeelden van beperkte zichtbaarheid rond een windturbinepark

Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat de situaties van figuur 41 zich hoofdzakelijk voordoen bij dat gedeelte van windparken op de uiterste grenzen van een concessiegebied. Momenteel dient rekening gehouden met typische veiligheidsafstanden tussen corridors en windparken van 500 m (*zie bijvoorbeeld voor Belgie: KB 11/4/2012 – BS 1/6/2012*).

In verband met de bewaking en de beveiliging van windturbineparken, tonen verschillende studies aan dat bewegende vaartuigen die binnen een windturbinepark opereren ook nog kunnen waargenomen worden, mits een radarstation op voldoende korte afstand.
Zie hiervoor specifiek de studies (zie ook literatuuroverzicht in annex 1) :

Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind Farm, BWEA & DTI, April 2007

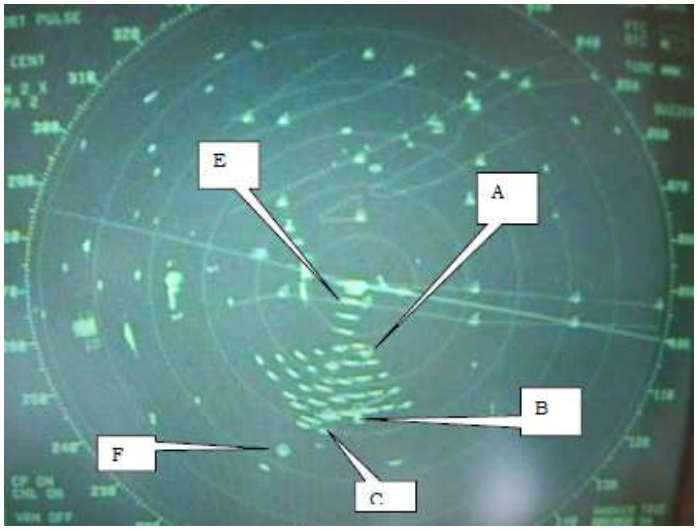
Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, QinetiQ, November 2004

Report of the Effect of Radar Performance of the proposed CAPE Wind Project, submitted to the US Coast Guard, annex M, December 2008

Hierbij komen duidelijk twee items naar voor:

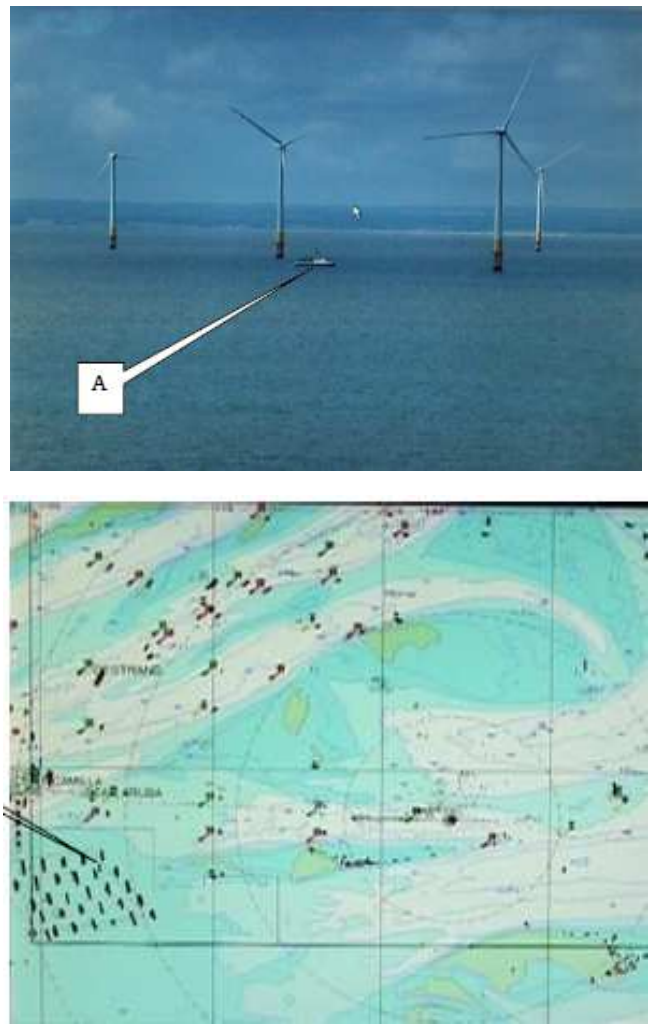
- van op korte afstand blijven ook kleine schepen die zich binnen het windpark bevinden zichtbaar, en kunnen schepen doorheen het windpark waargenomen worden

Figuur 42. Voorbeeld van het Kentish windpark als referentie



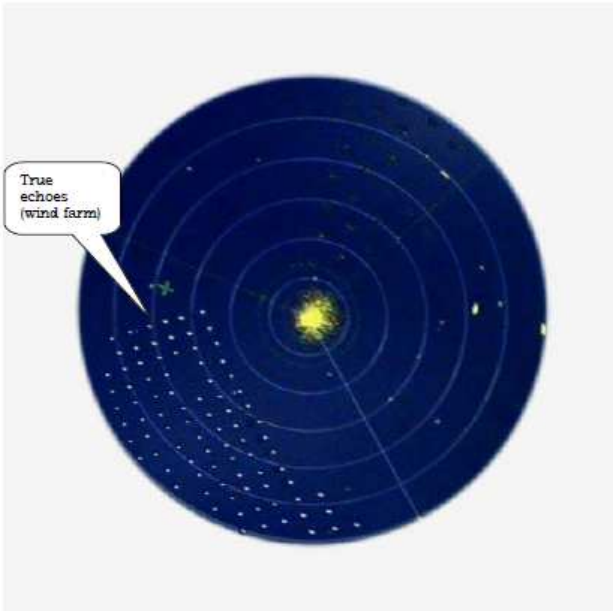
Figuur 43. Voorbeeld van het Kentish windpark met schepen in de buurt

Bij de waarnemingen (centraal punt) is een schip A in het windpark nog zichtbaar, evenals de schepen B, C en F aan de overkant van het windpark. Verder zijn er meervoudige reflecties E te zien van een schip dat tussen het waarnemingspunt dicht bij het windpark voorbijvaart.

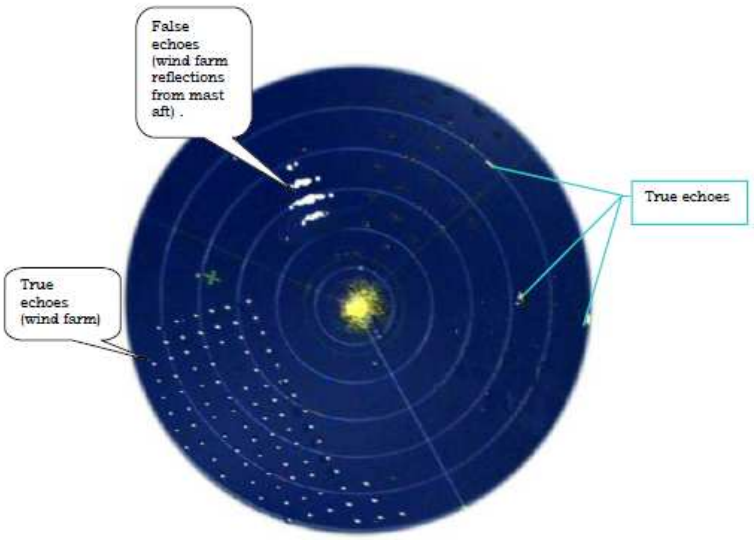


Figuur 44. Nog een voorbeeld van een schip, in het windpark (A), dat zichtbaar blijft op een scheepsradar

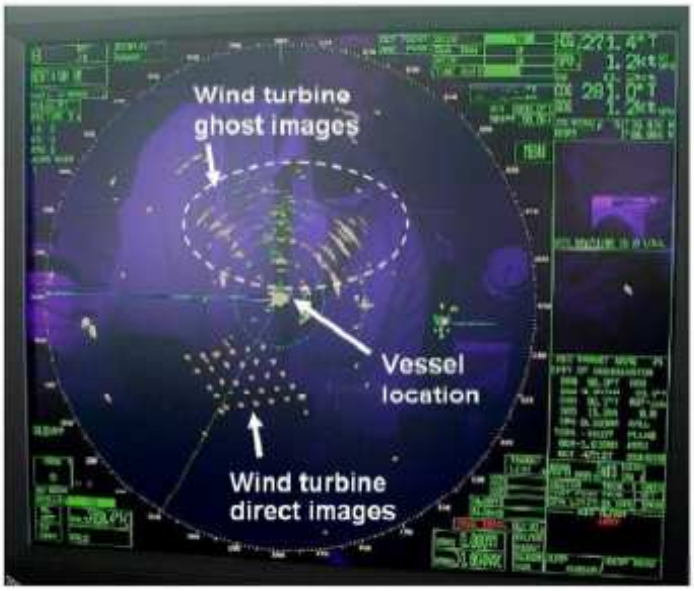
- er treden valse echo's op, maar die zijn meestal te wijten aan reflecterende voorwerpen aan boord van het schip zelf. Toch zijn voorbeelden bekend van valse echo's ten gevolge van een windpark, zoals hieronder weergegeven voor het Nantucket windpark.



Figuur 45a. Het referentiebeeld voor het Nantucket windpark



Figuur 45b. Beeld van het Nantucket windpark met schepen (rechts) en reflecties van een mast



Figuur 45c. Beeld van het East Anglia One windpark met één schip (midden) en reflecties van een mast

In de volgende paragrafen worden een aantal van deze effecten meer in detail geanalyseerd.

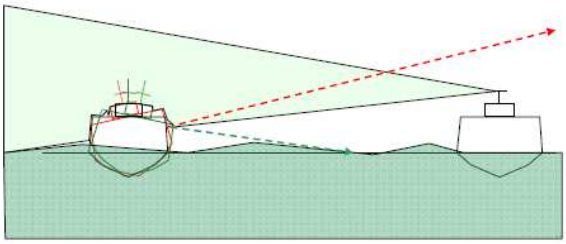
6.1. Controle van de zichtbaarheid van de windturbines

In eerste instantie dient nagegaan te worden in hoeverre de windparken zichtbaar zijn, binnen de beperkingen van geometrische reikwijdte (LoS) en het beschikbaar vermogen van de scheepsradar.

	Object hoogte in m			
Antenne hoogte	**3 m**	**10 m**	**20 m**	**100 m**
5 m	16 km	22 km	27 km	50 km
10 m	20 km	26 km	31 km	54 km
25 m	27 km	33 km	38 km	61 km

Tabel 7. 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 46. Ook de RCS kan daardoor wijzigen, maar dat zal minder effect ressorteren op het feitelijke bereik.

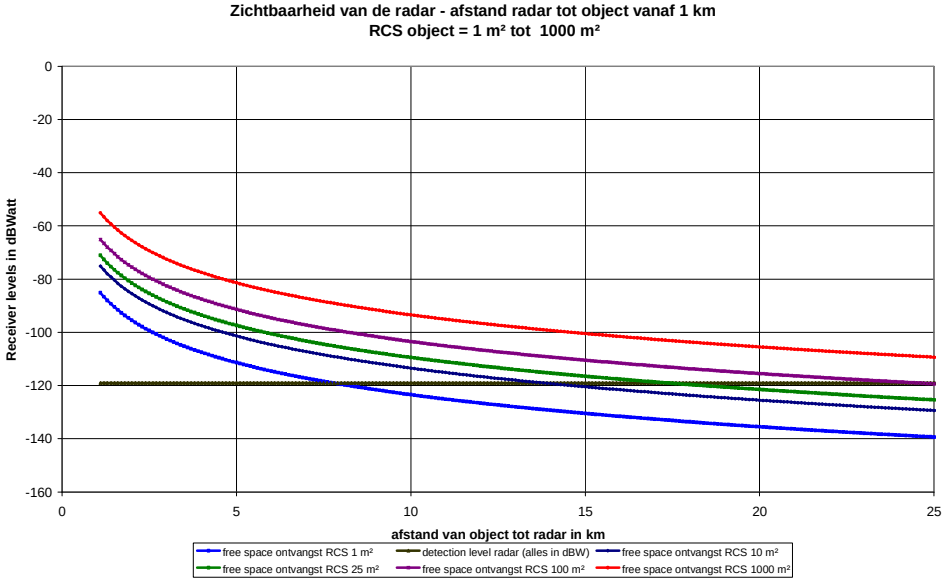


Figuur 46. Verandering in LoS bereik door het rollen van een schip

Het bereik van de scheepsradar in functie van de RCS van het waar te nemen object wordt gegeven in de volgende reeks grafieken van figuur 47, en kan als volgt samengevat worden:

RCS	1 m²	10 m²	25 m²	100 m²	1000 m²
Bereik	7 km	10 km	14 km	20 km	30 km

Tabel 8. Overzicht van het radarbereik van een scheepsradar in functie van RCS van een object



Figuur 47. Radarbereik voor een scheepsradar bij een eigen hoogte van 5m en verschillende object RCS

Uit de combinatie van LoS bereik en signaalsterkte kan besloten worden dat een feitelijk bereik van de scheepsradar zich situeert tussen 7 km (voor zeer kleine schepen) tot 20 km (voor grotere containerschepen). Een goed gemiddelde is daarbij een RCS van 25 m² , wat een bereik inhoudt van 14 km (ongeveer 8 NM). Het is bovendien duidelijk dat de windturbines van op relatief grote afstand zichtbaar zijn, ook van op kleinere schepen met een beperkte masthoogte.

Voor een analyse van een aantal effecten zullen posities van de scheepsradar genomen worden voor afstanden van 1 km, 5 km, 10 km en 20 km genomen worden.

Verder is een onbekende parameter de uiteindelijke vorm van zowel de fundering als de windturbine zelf, waarbij de reflecties van het zichtbare gedeelte van de fundering kunnen variëren. Een voorbeeld hiervan uit een studie omtrent het windpark "***East Anglia ONE***" [Vattenfall, annex1, 2.16, november 2012], wordt gegeven in de volgende figuren 48.

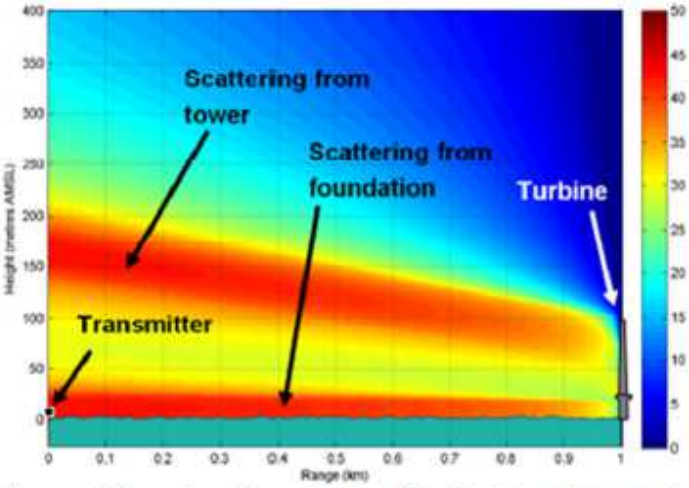


Diagram 1 Illustration of Scattering from Wind Turbine and Gravity Base and Suction Caisson Foundation Options (the colour indicates the bistatic RCS in units of dBsm)

Figuur 48a. Grafische voorstelling van de reflecties van een windturbine met volle fundering
[ref. Vattenfal, annex1, 2.16]

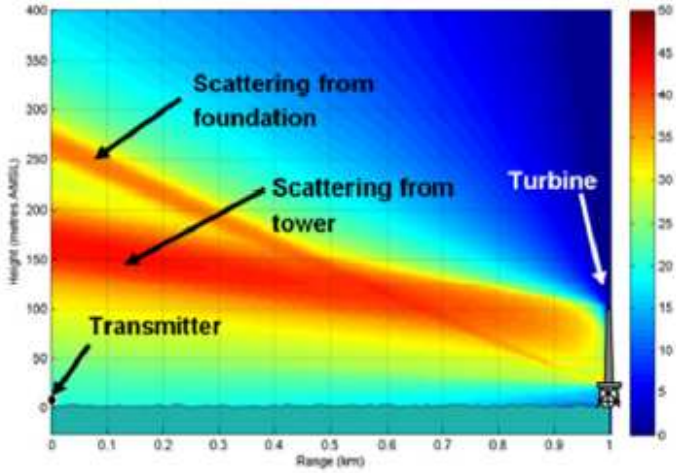
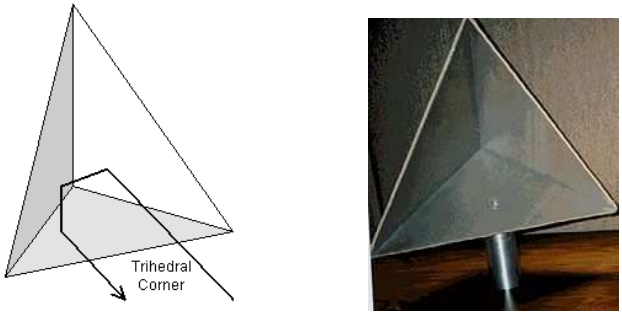


Diagram 2 Indicative Illustration of Scattering from Wind Turbine and Jacket

Figuur 48b. Grafische voorstelling van de reflecties van een windturbine met Jacket fundering
[ref. Vattenfal, annex1, 2.16]

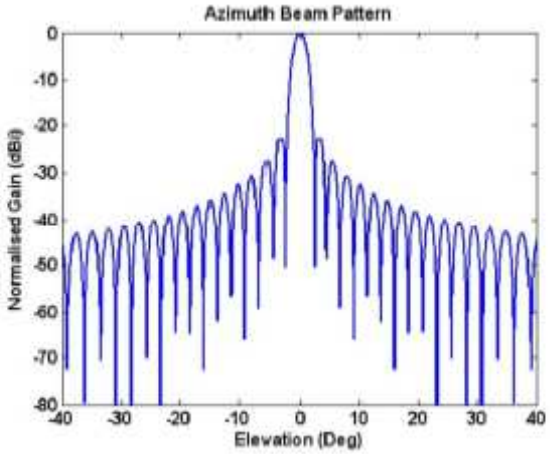
Het is duidelijk dat voor de scheepvaart en de marineradar, er een groot verschil in reflecties te noteren is in functie van het type fundering, waardoor de reflecties al of niet langsheen het aardoppervlak teruggekaatst worden. Waarschijnlijk heeft de “slechte” prestatie van de volle fundering eerder te maken hebben met een vorm van “totale reflectie” aan de voet van windturbine. Het principe wordt toegepast bij de ‘trihedral corner reflector’, zoals die gebruikt worden om de RCS van kleinere schepen virtueel groter te maken.



Figuur 49. Trihedral corner reflector: principe (links) en voorbeeld (rechts)

6.2. Mogelijke detectie door zijlobes

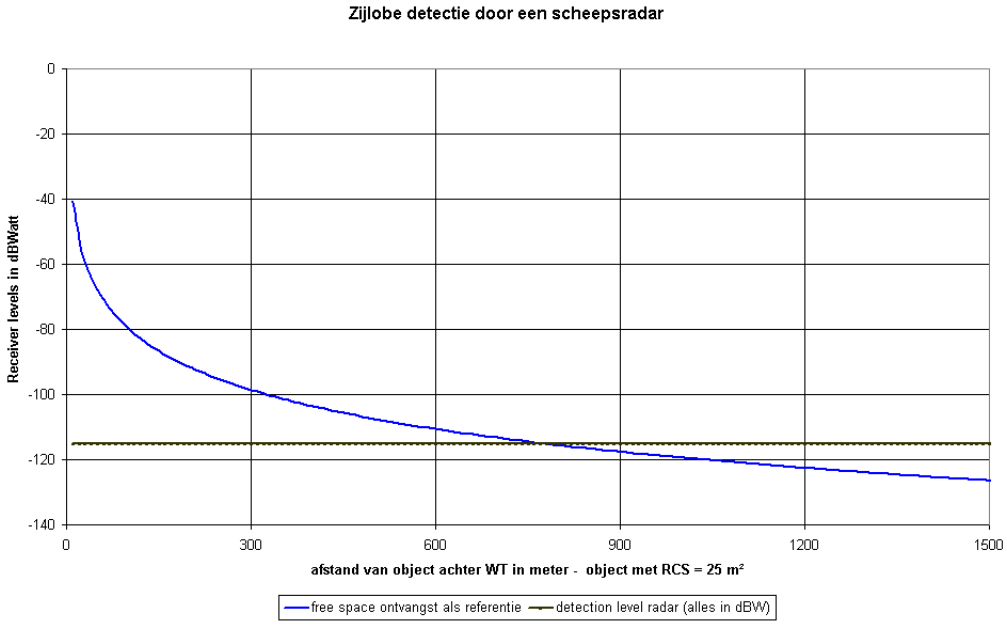
Een stralingspatroon van een antenne heeft een hoofdlobe, maar vertoont ook een aantal zijlobes, evenwel met een lagere gevoeligheid. Indien een (gereflecteerd) signaal groot genoeg is, kan dit ook door een zijlobe gedetecteerd worden, en waarbij het "beeld" in de waarnemingscel van de hoofdlobe wordt weergegeven. Dit zal dus aanleiding geven tot een valse echo in het radarbeeld.



Figuur 50. Voorbeeld van een stralingspatroon van een radarantenne (cartesisch stelsel)

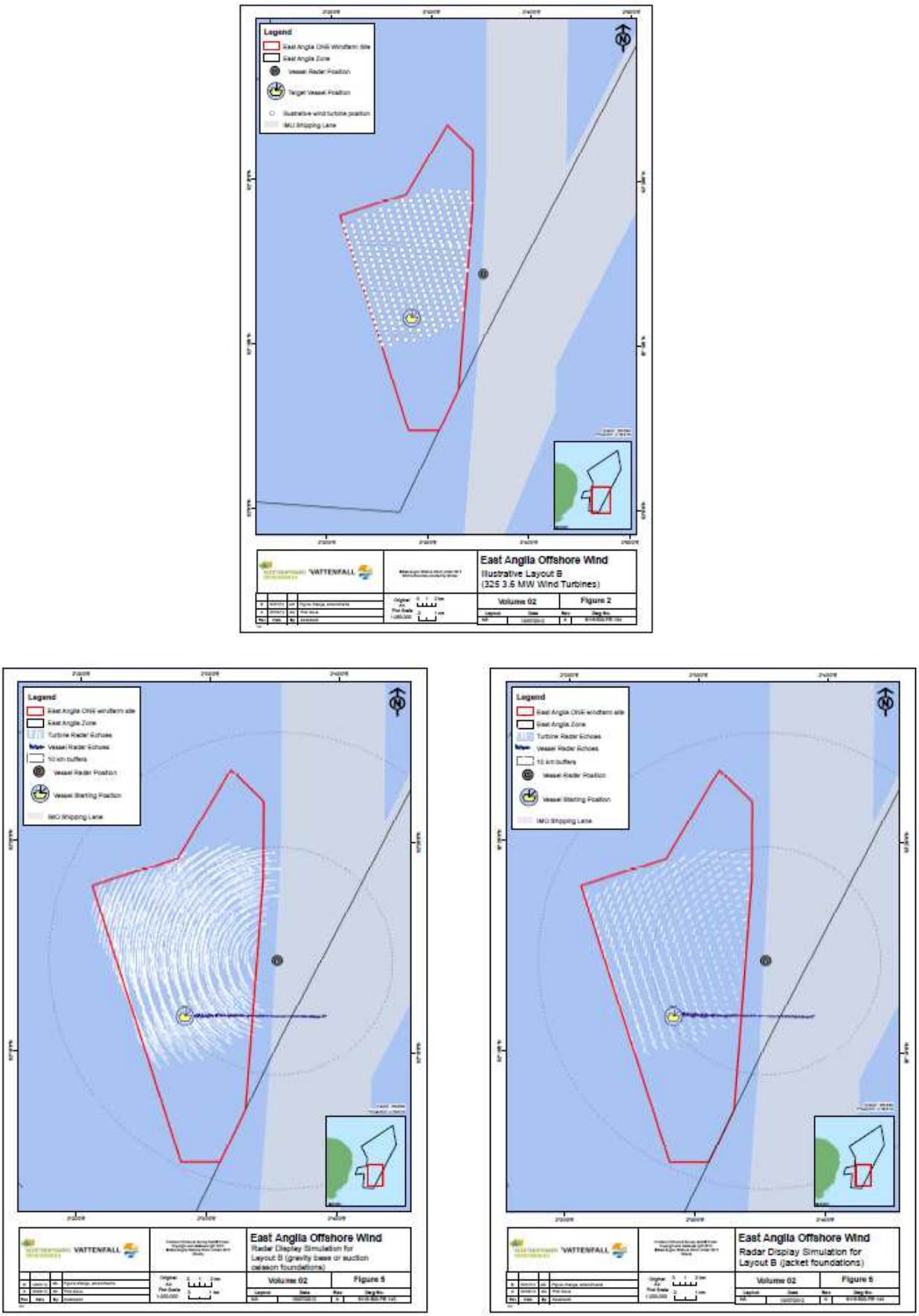
Voor een scheepsradar ligt de afstand tussen radarantenne (schip) en object waarbij een detectie via de zijlobes (met een eerste zijlobe onderdrukking van 25 dB), mogelijk is, op een afstand van 750 m voor objecten met een typische RCS van 25 m². Dit kan oplopen tot 1250 m à 1500 m voor grotere objecten.

Er zal zich dus een valse beeldvorming van windparken op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de scheepsradar, maar wel op voldoende korte afstand van het schip tot een windpark.



Figuur 51. Zijlobe detectie van een scheepsradar voor een object met een RCS = 25 m²

Een voorbeeld van valse echo-vorming omwille van mogelijke detectie door de zijlobes van een aanzienlijke reflectie van een windturbine wordt getoond in de volgende figuur, zoals deze gesimuleerd werd voor het project 'East Anglia ONE' [Vattenfall, annex1, 2.16]. Het is duidelijk dat beeldvorming en bijhorende resolutie hierdoor sterk beïnvloed kunnen worden.

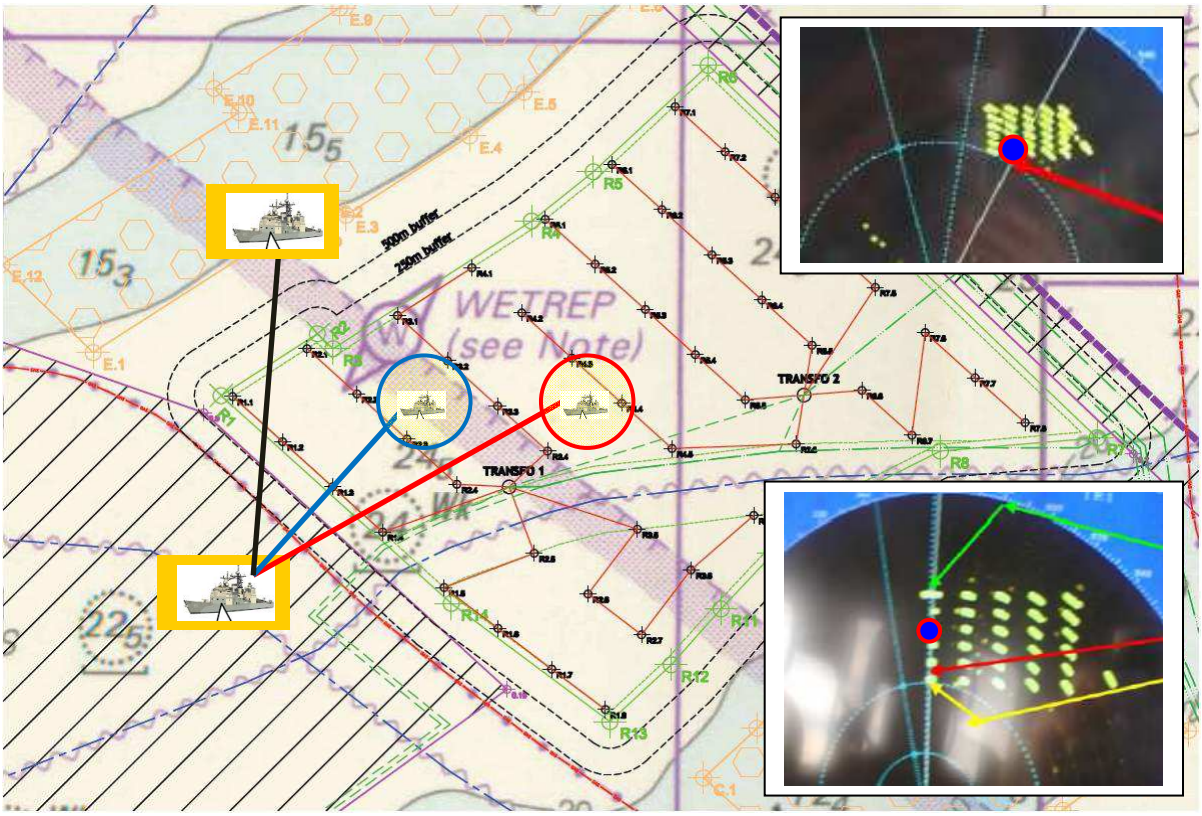


Figuur 52. Studieschets van de mogelijke layout van het project East Anglia ONE (boven) en de resulterende gesimuleerde beeldvorming voor een radar op 1 km (rechts op de figuren) door valse echo's voor een volle fundering (links onder) en een jacket fundering (rechts onder)

6.3. Shadowing en dode zones

Het probleem van mogelijke shadowing en dode zones stelt zich hoofdzakelijk naar de zichtbaarheid van schepen die zich in een windpark bevinden (o.a. voor onderhoudswerk), schepen achter een windpark (botsingsgevaar) en schepen die het windpark verlaten. Zie ook figuur 41 voor een schets van mogelijke situaties.

In de volgende detailkaart is een voorbeeld gegeven van een mogelijke inplanting van windturbines in een windpark. In dit voorbeeld is de typische afstand tussen de windturbines ongeveer 750 m (zie de basisregel van 5 à 6 maal de rotordiameter). Een realistische benadering is een schip in het windpark te beschouwen op een afstand van 350 m achter de eerste rij windturbines, zowel naar inkijk als naar het uitvaren van een schip.



Figuur 53. Voorbeeld van één van de mogelijke inplantingen van windturbines in een windpark

In bovenstaande figuur 53 worden een aantal situaties geschetst voor een schip op 1 km afstand van het windpark, en met 3 mogelijke liggingen van een tweede schip in en net buiten het windpark. Voor de blauwe verbindingslijn dient de shadowing en eventuele dode zone achter een windturbine in aanmerking genomen te worden. Dit is dus een ligging van een schip dat precies in lijn achter een windturbine ligt. De overige twee situaties hebben een vrij radiopad, waarvoor de Fresnel (ellips) voorwaarde dient gecontroleerd te worden (zie 6.4.).

De inzet boven toont een radarbeeld waarbij een schip (***aangegeven met rood omrande blauwe stip***) dat zich net binnen het windpark bevindt nog zichtbaar blijft door een voldoende open afstand tussen windturbines.

De inzet onder toont een cumulatie van windturbines op één lijn, die een radarblinde zone als gevolg zal hebben, en waardoor een schip dat zich op die lijn bevindt, onzichtbaar wordt.

In deze paragraaf wordt de verzwakking achter een windturbine (in lijn) nagegaan voor schepen op een afstand van 1 km en 5 km tot het windpark. En een tweede geval waarbij een schip op een afstand van 350 m in het windpark, achter een windturbine, een radarbeeld van het buitengebied dient te capteren vooraleer het windpark uit te varen. De bijhorende grafieken worden in de figuren 55 – 57 gegeven.

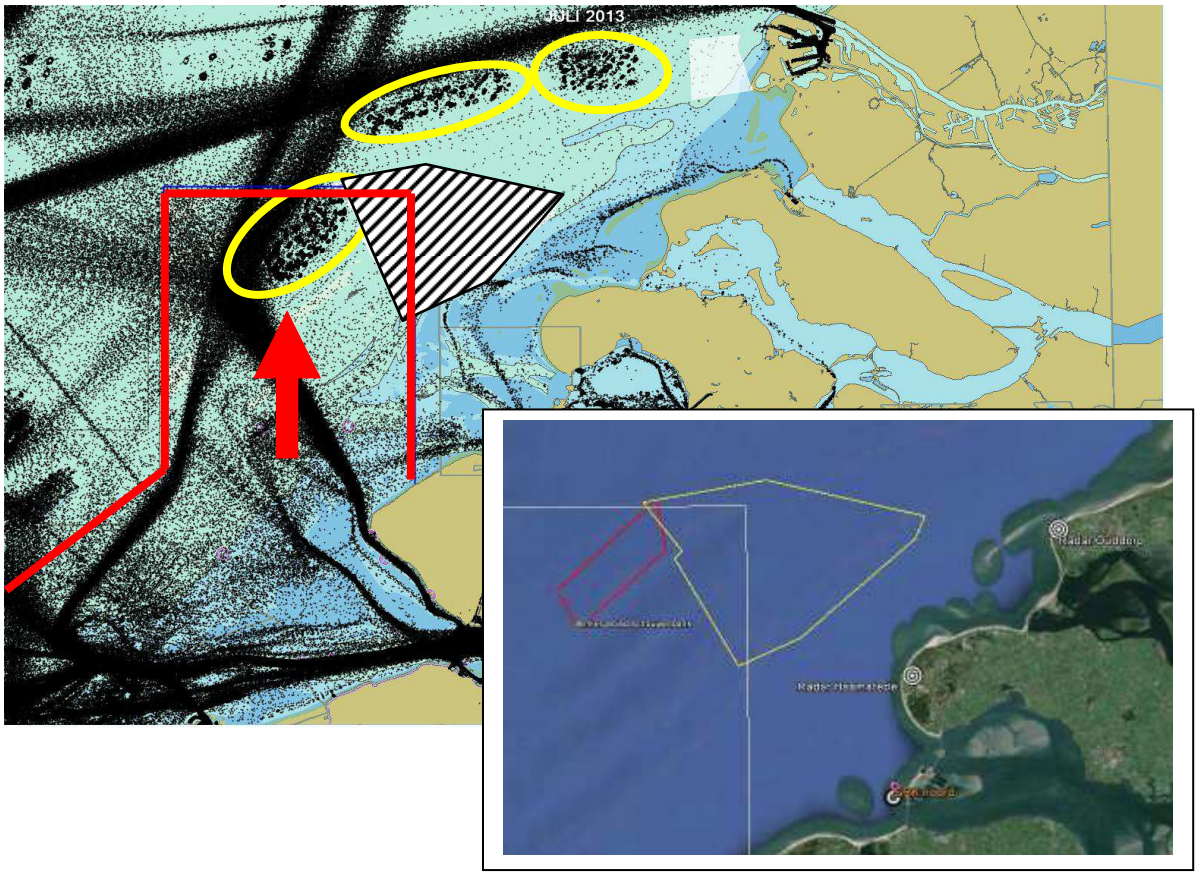
Uit deze analyses volgt dat een schip op een afstand van 1 km objecten achter een windturbine nog kan waarnemen. De voorbeelden omvatten een object met een RCS van respectievelijk 25 m² en 100 m². Het gedempte signaal ten gevolge van de shadowing is de rode lijn op de grafieken. De blauwe lijn is de situatie “free space”, waarbij geen storende voorwerpen op het signaalpad voorkomen.

Voor een schip op een afstand van 5 km tot het windpark worden nagenoeg geen objecten binnen in het windpark waargenomen, behalve de windturbines zelf met een voldoende grote RCS waarde.

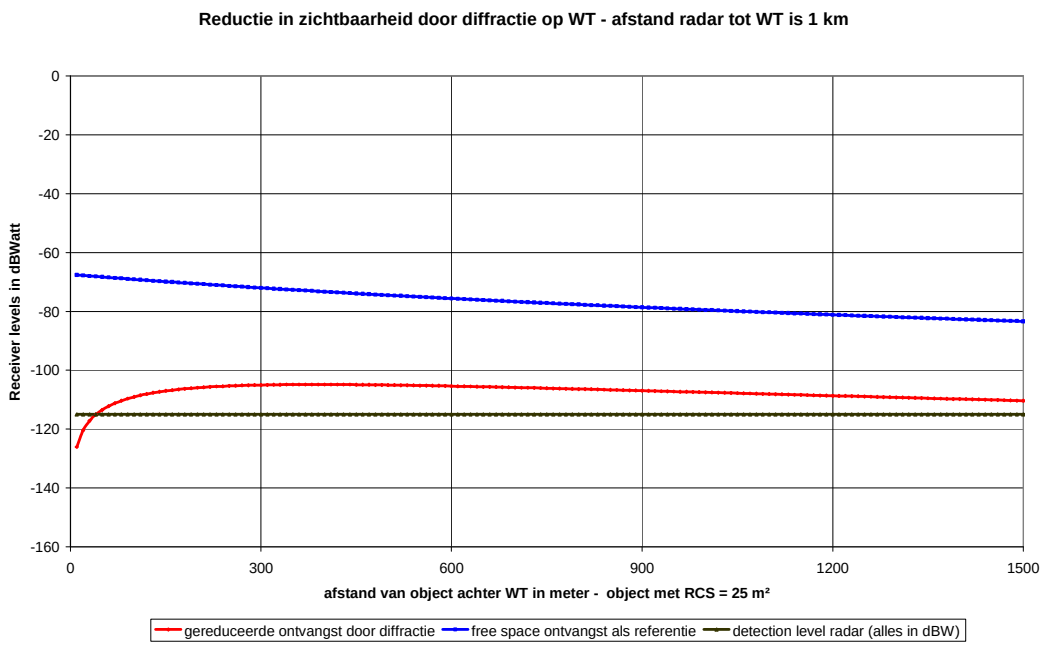
Een derde groep van grafieken behoort bij een schip dat zich in het windturbinepark bevindt, op een afstand van 350 m van een windturbine, en het buitengebied dient waar te nemen vooraleer zonder gevaar op botsing buiten te varen. Schepen in het buitengebied tot op een afstand van meer dan 1500 m blijven daarbij zichtbaar.

Voor het zoekgebied “Schouwen” dient hierbij speciale aandacht besteed te worden aan de ankerplaatsen in de directe omgeving van het zoekgebied, zoals uit de onderstaande figuren blijkt omtrent de ligging van de ankerplaatsen (geel omlijnd) en het zoekgebied “Schouwen” (gearceerd), en specifiek voor het ankergebied Schouwenbank dat binnen het SRK actieveld valt.

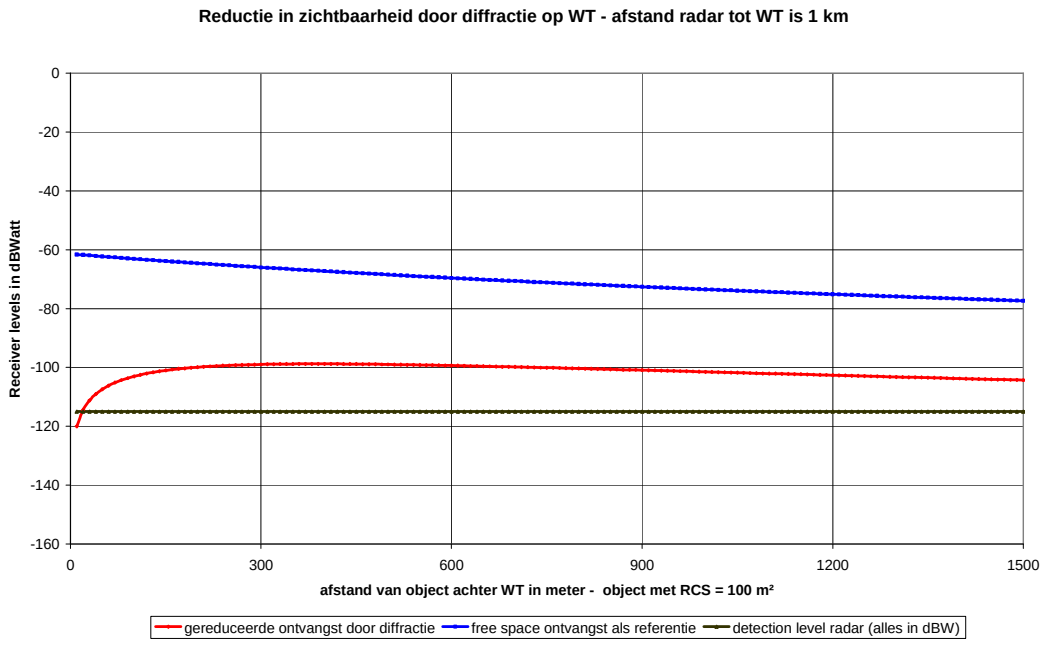
De nodige aandacht zal dus dienen besteed te worden aan een correcte afbakening van zowel dit ankergebied Steenvank als het zoekgebied “Schouwen”, en tevens aan de nodige veiligheidsafstanden tussen beide gebieden.



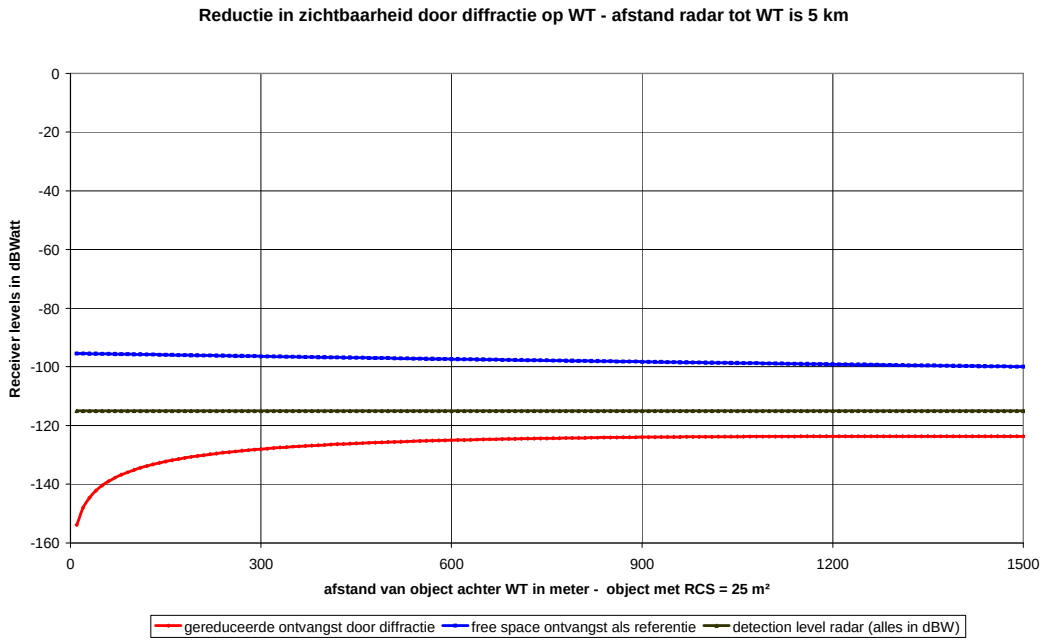
Figuur 54. Ligging van het zoekgebied Schouwen ten opzichte van de ankerplaatsen in de omgeving



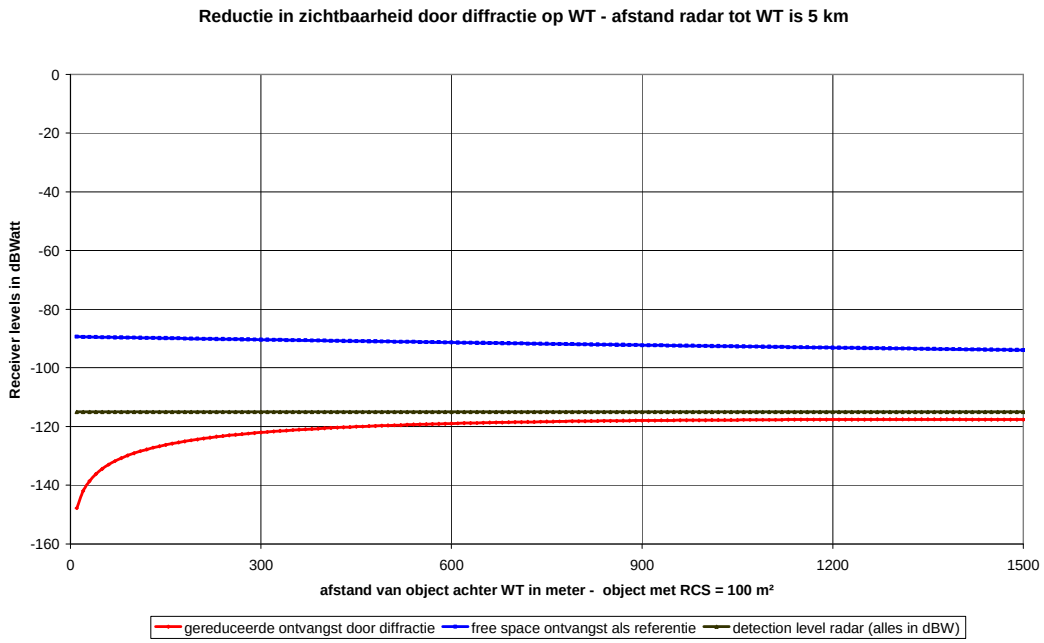
Figuur 55a. Demping van het radarsignaal voor een schip op 1 km van een windpark.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



Figuur 55b. Demping van het radarsignaal voor een schip op 1 km van een windpark.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²



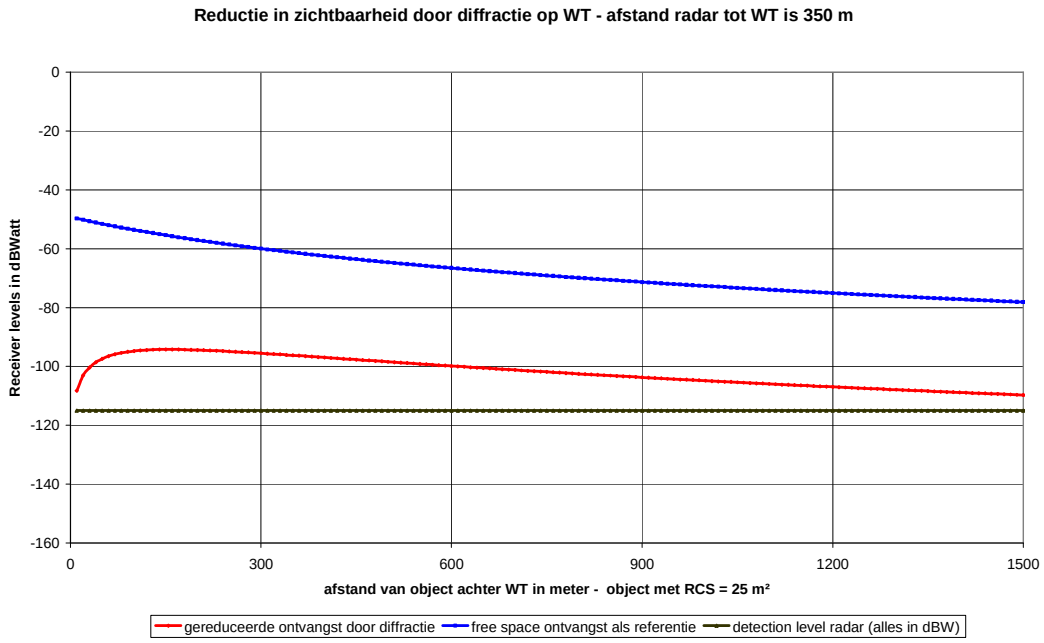
Figuur 56a. Demping van het radarsignaal voor een schip op 5 km van een windpark.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



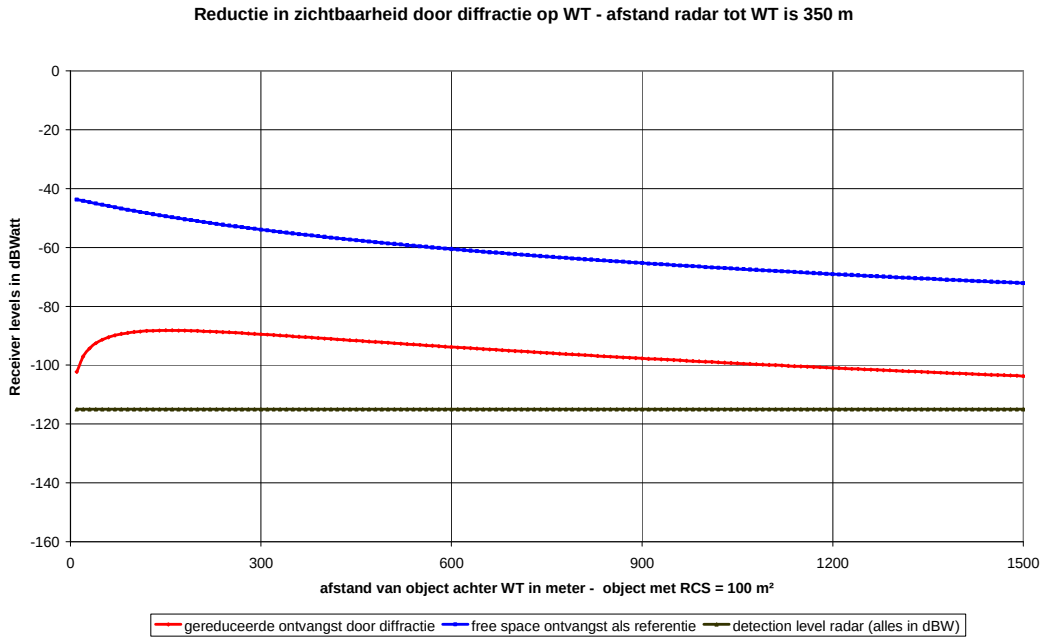
Figuur 56b. Demping van het radarsignaal voor een schip op 5 km van een windpark.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²

Voor een afstand van 5 km tussen schip en windpark, zullen er dode zones ontstaan, precies in lijn achter een windturbine (zie grafieken van figuur 59).

Voor schepen die niet op lijn achter een windturbine liggen, zal deze attenuatie zich niet voordoen indien er een voldoende vrije doorgang voor de radarsignalen is. Dit kan ingeschat worden aan de hand van de Fresnel ellips voorwaarden.



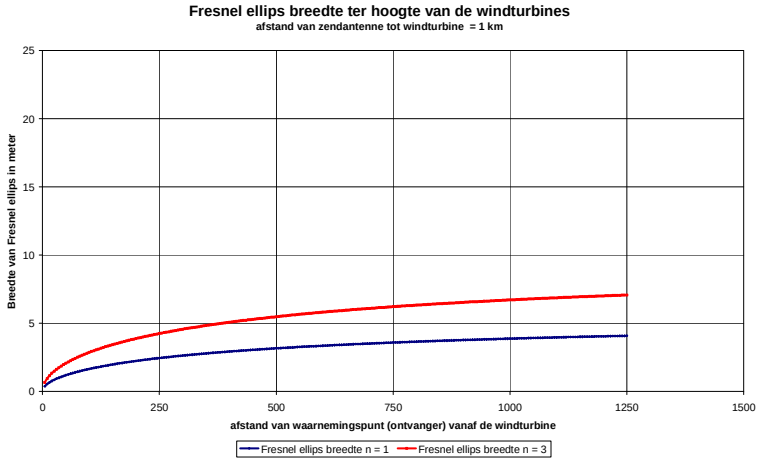
Figuur 57a. Demping van het radarsignaal voor een schip op 350 m van een windturbine.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 25 m²



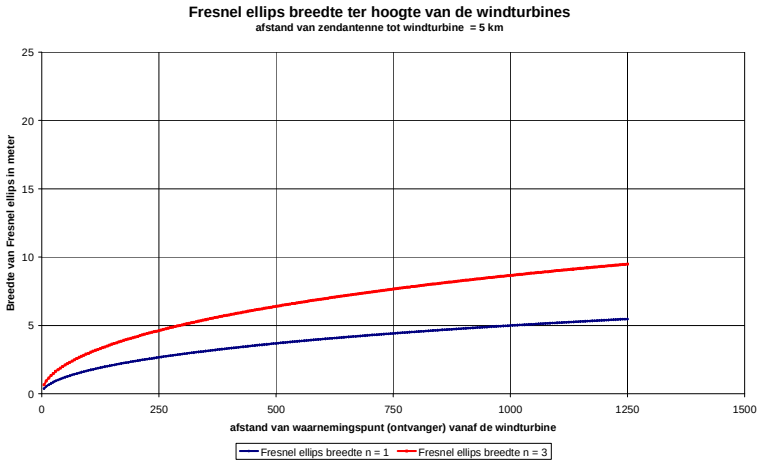
Figuur 57b. Demping van het radarsignaal voor een schip op 350 m van een windturbine.
Het object in lijn achter de windturbine heeft een typische RCS = 100 m²

6.4. Vrije Fresnel doorgang doorheen een windturbinepark

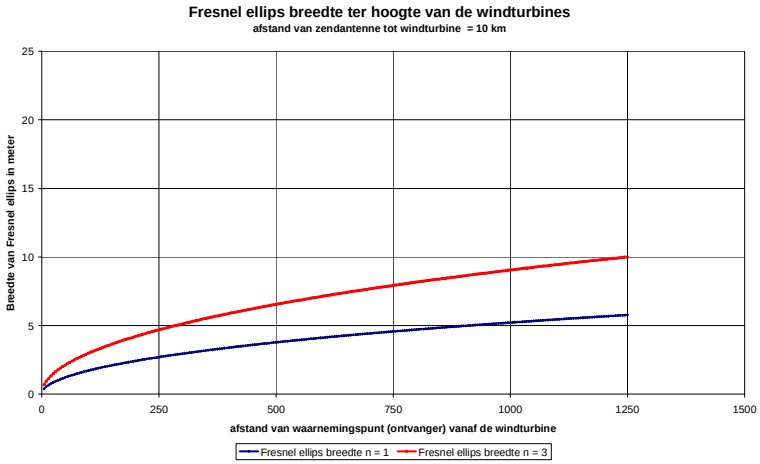
In tegenstelling tot de walradar op grotere afstand, kunnen zich een aantal situaties voordoen waarbij een voldoende vrije doorgang voor het radarsignaal mogelijk is, en een windpark dus (gedeeltelijk) transparant blijft. Dit is duidelijk te zien voor een paar voorbeelden in figuur 53. De Fresnel ellips voorwaarden worden in de volgende figuren weergegeven voor verschillende situaties en condities.



Figuur 58a. Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 1 km afstand



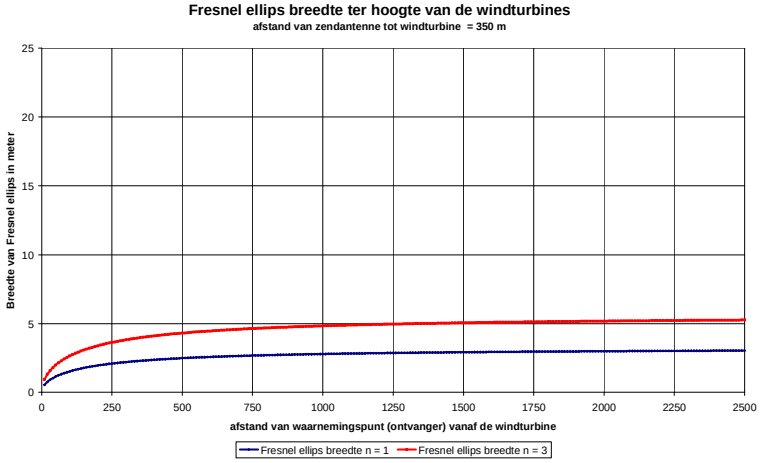
Figuur 58b. Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 5 km afstand



Figuur 58c. Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 10 km afstand

Uit bovenstaande grafieken blijkt dat er een open ruimte voor de radarsignalen is bij afstanden tussen de windturbines van ongeveer 15 m (voor n=1), en dit voor schepen op kortere afstand tot een windpark. Dit houdt dus in dat schepen in de nabijheid van windparken op een voldoende manier de eventuele trafiek binnen het windpark kunnen waarnemen en volgen, en dus ook bij het binnenvaren ervan het botsingsrisico kunnen elimineren.

Voor schepen die in een windpark circuleren, is het niet alleen belangrijk om het buitengebied te kunnen waarnemen, maar ook andere trafiek binnen het windpark. Uit §6.3. blijkt reeds dat er wel een shadowing optreedt in lijn met een windturbine, maar niet direct een dode zone ontstaat. Figuur 59 toont de Fresnel ellips voorwaarde tussen windturbines van een windpark, waaruit dus ook voldoende transparantie blijkt.

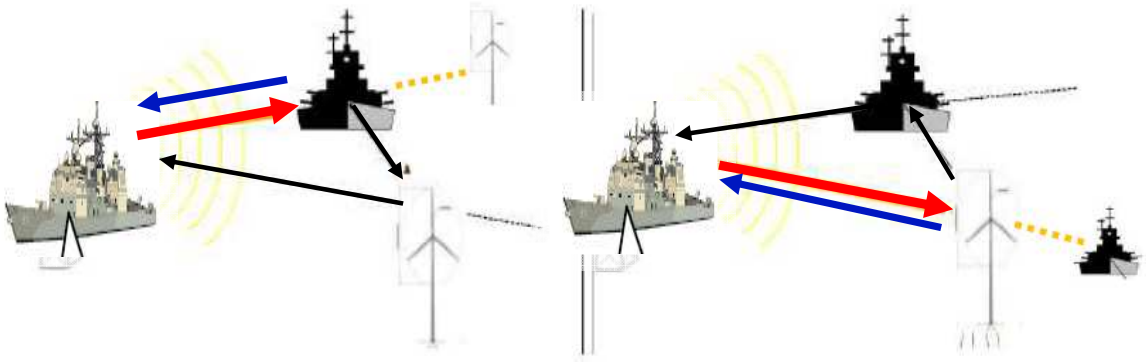


Figuur 59. Fresnel ellips voorwaarden bij een windpark, voor een schip op 350 m afstand

Bovenstaande analyses worden door een aantal praktijktesten bevestigd, zoals reeds in de figuren 43 - 44 werd aangegeven.

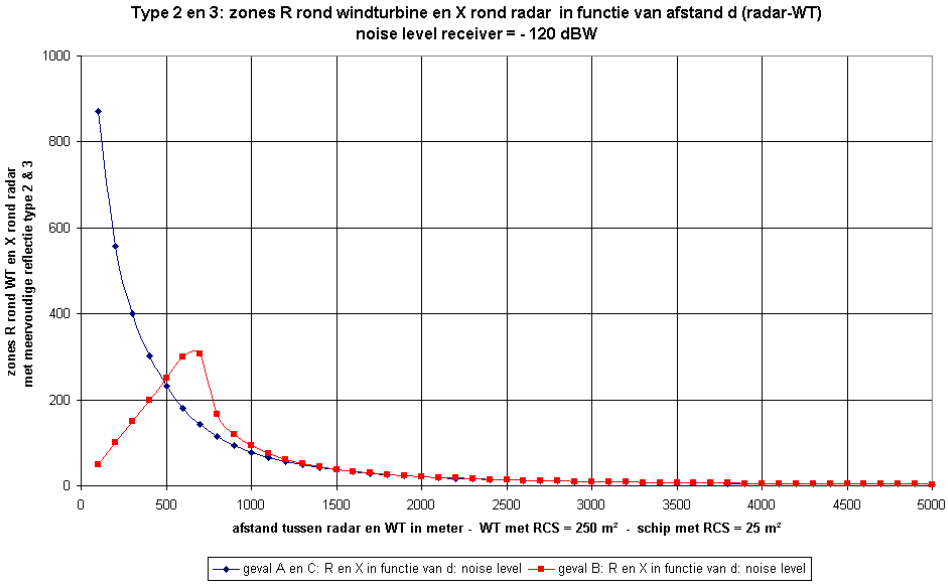
6.5. Meervoudige reflecties en valse echo's

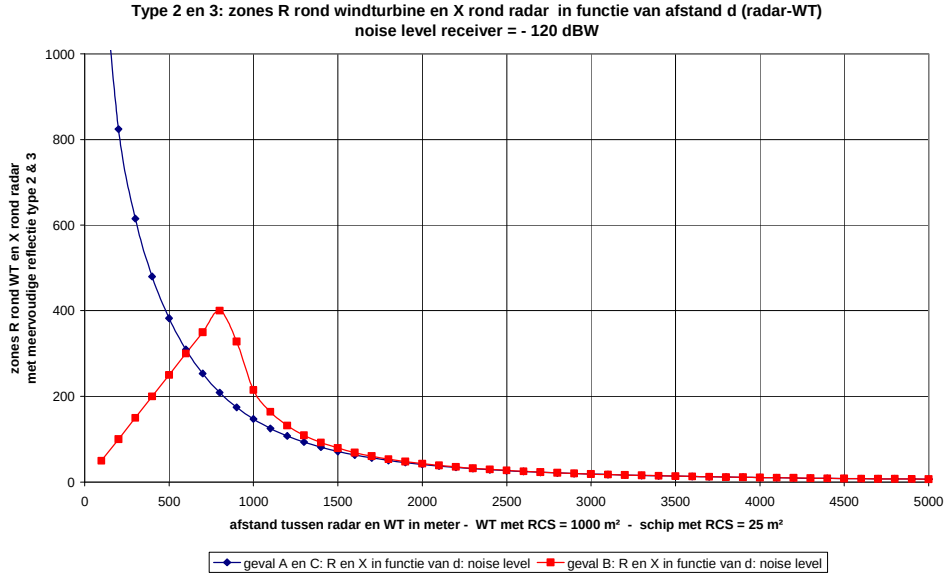
Meervoudige reflecties, en de bijhorende valse echo's komen voor door een rondgaande reflectie, die op een later tijdstip een tweede reflectie genereert en dus een vals echobeeld zal geven. Uit vorige studies en analyses (zie ook studies en aanbevelingen voor ATC van Eurocontrol), zijn maar twee types van meervoudige reflecties belangrijk. Deze worden schematisch weergegeven in figuur 60.



Figuur 60. Schematische weergave van het effect van meervoudige reflecties en valse echovorming

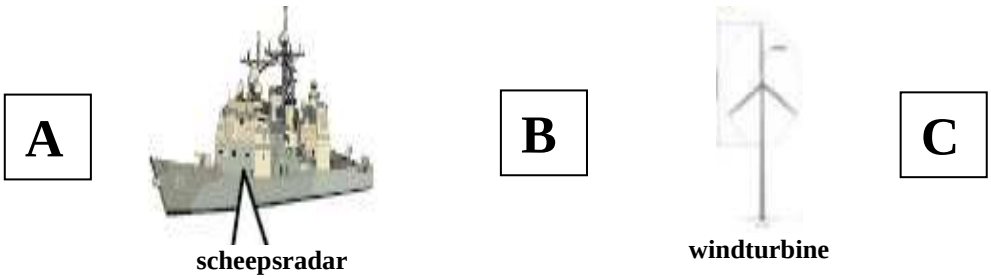
De volgende grafieken geven de zones aan waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een windturbine op een afstand van 200 m tot 5 km van de scheepsradars, voor een tweetal combinaties van verschillende RCS waarden (250 m² en 1000 m²) voor de windturbine en het betreffende (tweede) schip of object (RCS 25 m² en 100 m²).





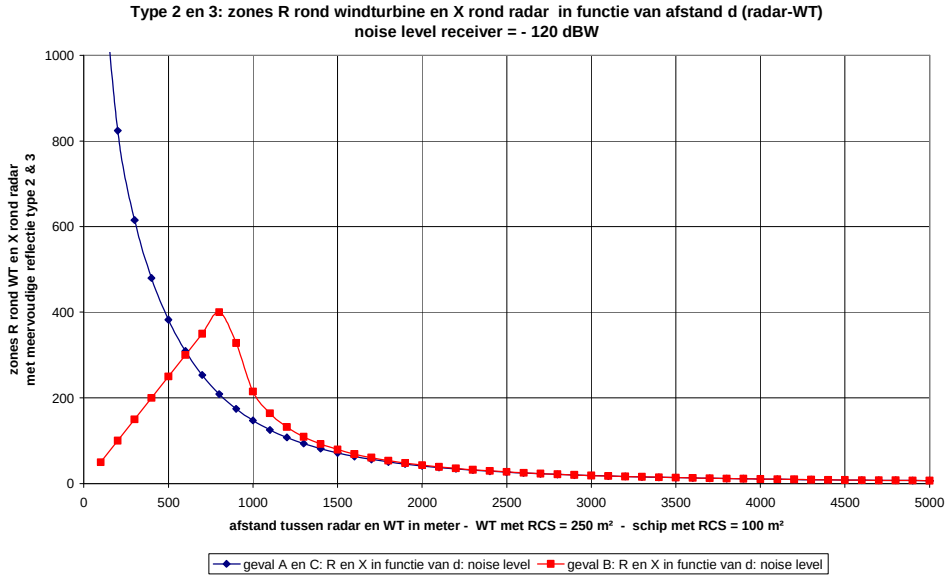
Figuur 61. Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 25 m² en twee verschuillende RCS waarden voor de windturbine

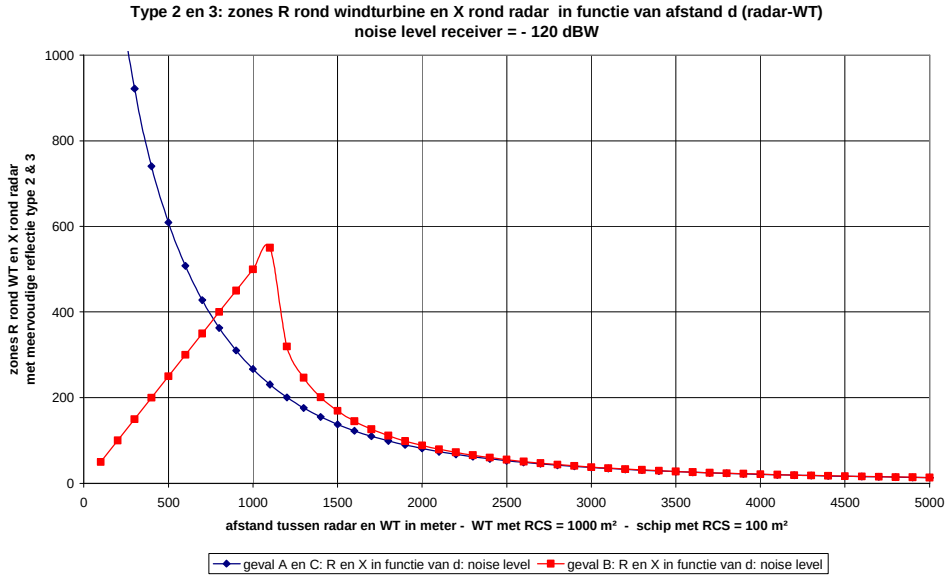
De bovenstaande figuren geven een zone met straal R aan rond de betreffende windturbine en een straal X rond de betreffende radarantenne (zie figuren 64 en 65), voor de gevallen A, B en C. Deze drie situaties worden in de volgende figuur 62 schematisch weergegeven.



Figuur 62. Schematische voorstelling van de positie van een derde object dat aanleiding kan geven tot meervoudige reflecties (zie figuur 60) 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 63. Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 100 m² en twee verschuillende RCS waarden voor de windturbine

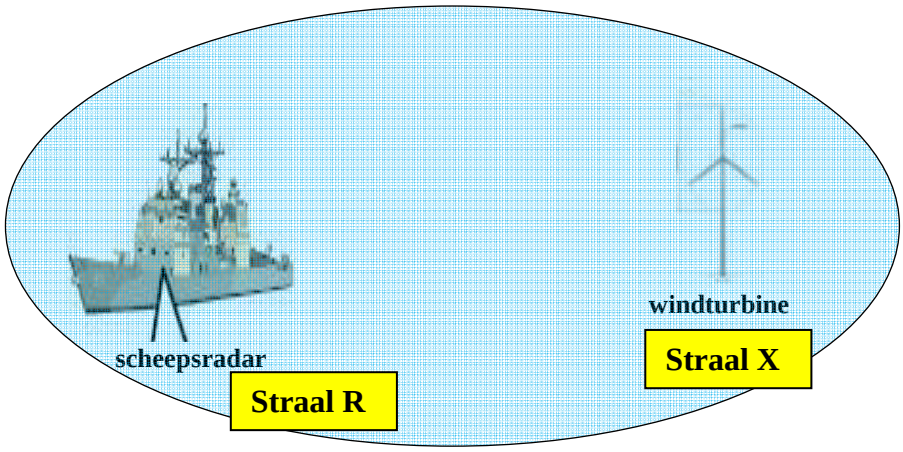
Uit bovenstaande analyses volgt dat er gemiddeld slechts meervoudige reflecties zullen optreden indien het waarnemingsschip zich binnen een afstand tot 1500 m van de windturbines bevindt, en een tweede object in de directe omgeving ervan.

Er kunnen zich nu twee verschillende situaties voordoen:

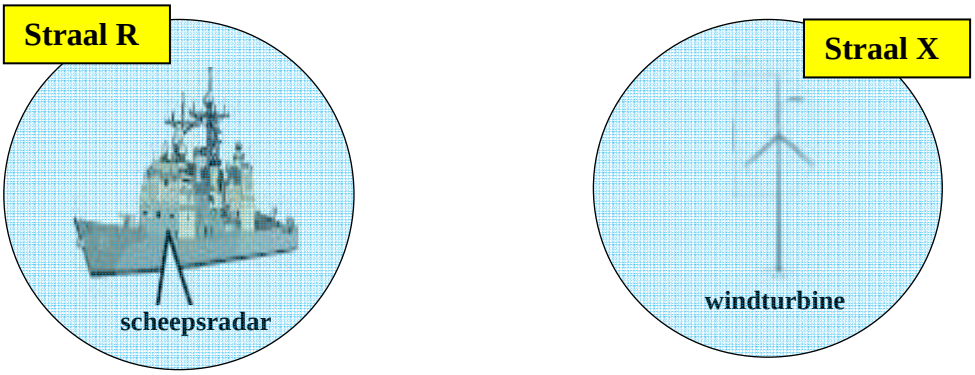
- bij een kortere afstand tussen scheepsradar en windturbine, zullen de verschillende zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden één groter aaneengesloten gebied vormen.

- bij een grotere afstand tussen scheepsradar en windturbine, zullen de zones rond het schip en rond de windturbine telkens een afzonderlijk (en zelfs kleiner) gebied vormen.

De twee gevallen worden schematisch weergegeven in de volgende figuren 64 en 65.

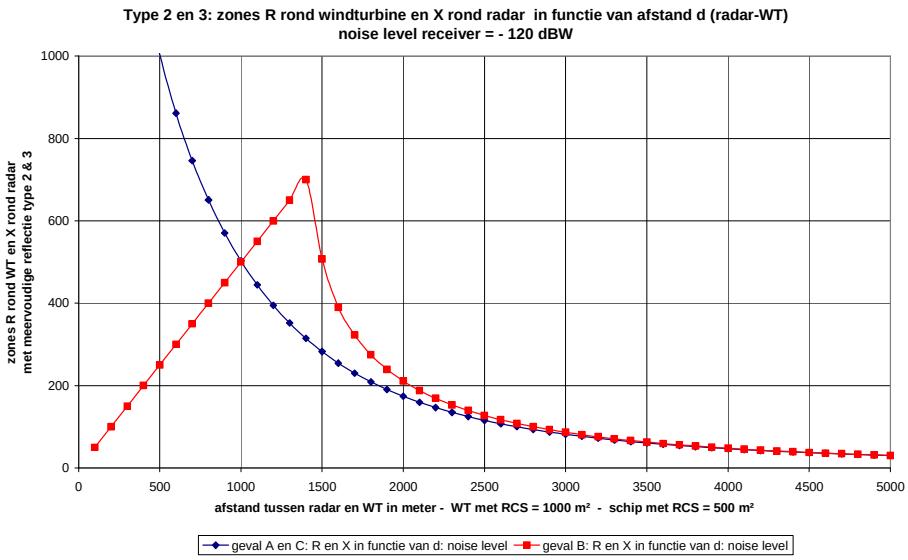


Figuur 64. Situatie waarbij alle zones een aaneengesloten gebied vormen



Figuur 65. Situatie waarbij alle zones afzonderlijke gebieden vormen

Tenslotte wordt nog een worst case situatie gegeven voor een windturbine met een RCS = 1000 m² en een schip met een RCS = 500 m².



Figuur 66. Zones waarbinnen meervoudige reflecties kunnen optreden voor een schip met een RCS = 500 m² en een windturbine met een RCS = 1000 m² (worst case).

Normaal zullen meervoudige reflecties slechts tijdelijk van aard zijn, gezien de voortbeweging van zowel het schip als van het tweede object. Dergelijke ‘valse’ echo’s zullen de veiligheid echter niet direct in gevaar brengen, gezien het feit dat de eventuele valse beelden zullen gecreëerd worden in en onmiddellijk rond het windturbinepark, dan wel uit dezelfde richting als een ander schip. De valse echobeelden zullen bovendien nooit optreden tussen het schip en het eerste object dat moet waargenomen worden.

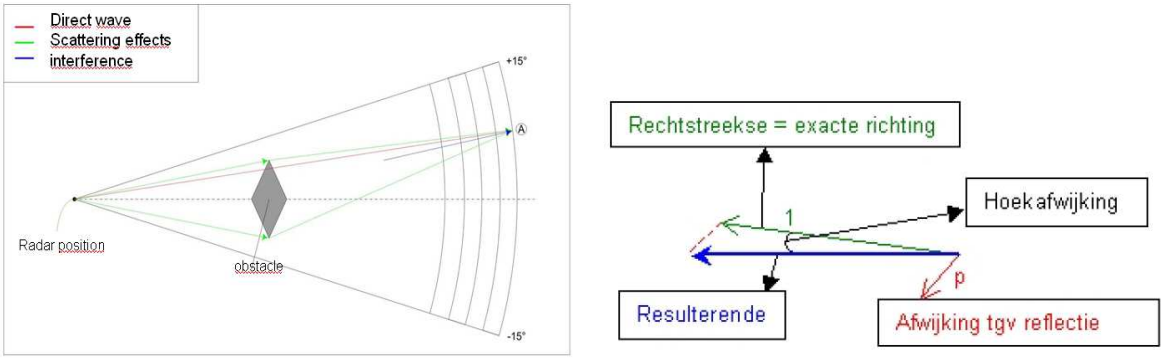
6.6. Mogelijke clutter door draaiende rotor

Een scheepsradar is normaal niet voorzien van clutter eliminerende algorithmes en signaalverwerking voor de specifieke waarnemingscondities van draaiende rotoren.

6.7. Hoekafwijking door multipath propagatie en diffractie

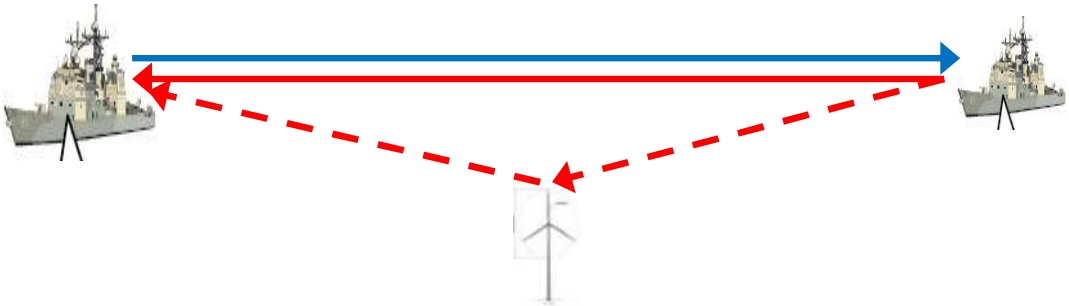
Er kan zich een afwijking voordoen in azimuth voor de radarbundel ten gevolge van zowel diffractie als een multipath propagatie. Bij diffractie ontstaan twee signaalwegen, die zich weer kunnen samenstellen tot één resulterend signaal. Deze resultante zal echter een andere richting en een andere looptijd (fasehoek) hebben dan het oorspronkelijke signaal en kan dus aanleiding geven tot een foutieve detectie van range en azimuth.

Dit wordt schematisch aangegeven in figuur 67.



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

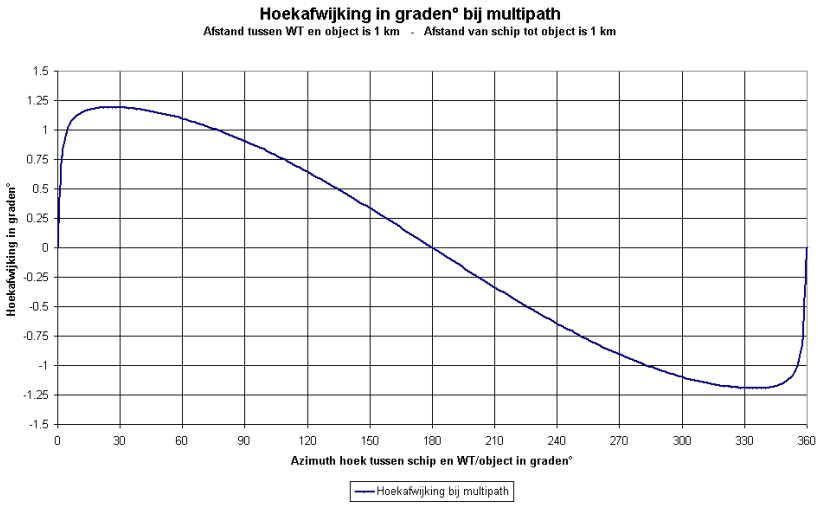
Een tweede vorm van multipath propagatie komt voor door reflectie van een gediffracteerde radarbundel op een windturbine voor verschillende combinaties van afstand tussen windparken en voor verschillende liggingen van de respectievelijke schepen. Dit mechanisme wordt in de onderstaande figuur 68 geschetst.



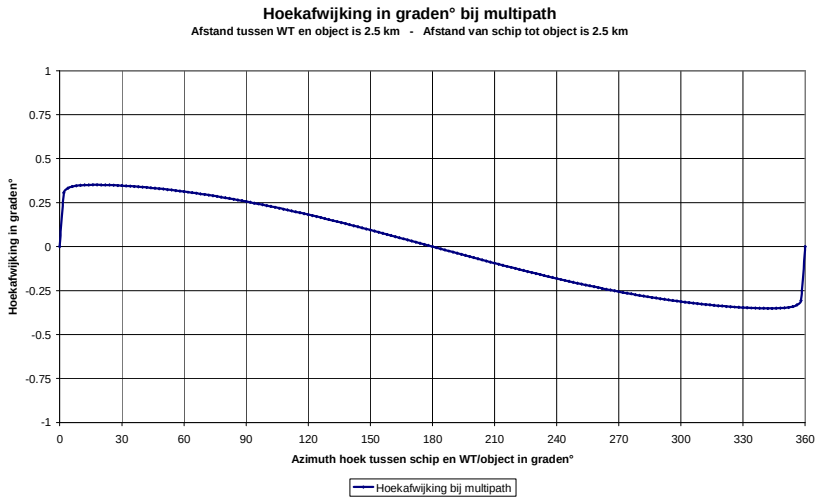
Figuur 68. Multipath propagatie schip/schip door reflectie op een tweede object

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.

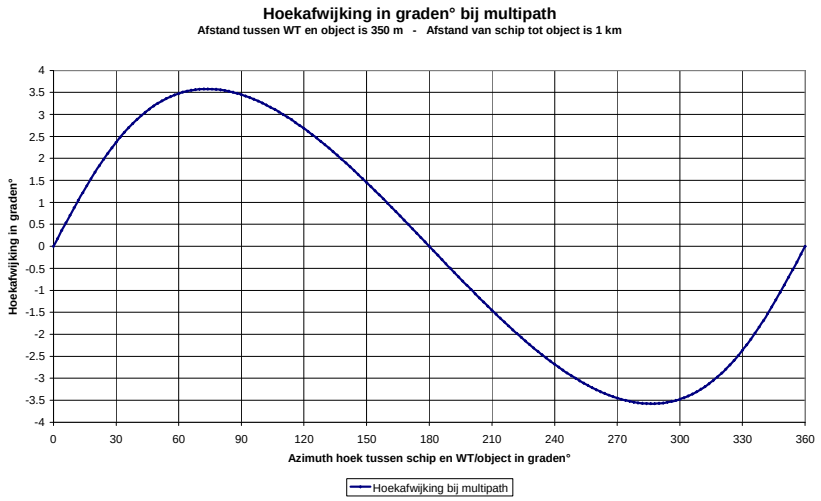


Figuur 69. Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 1 km

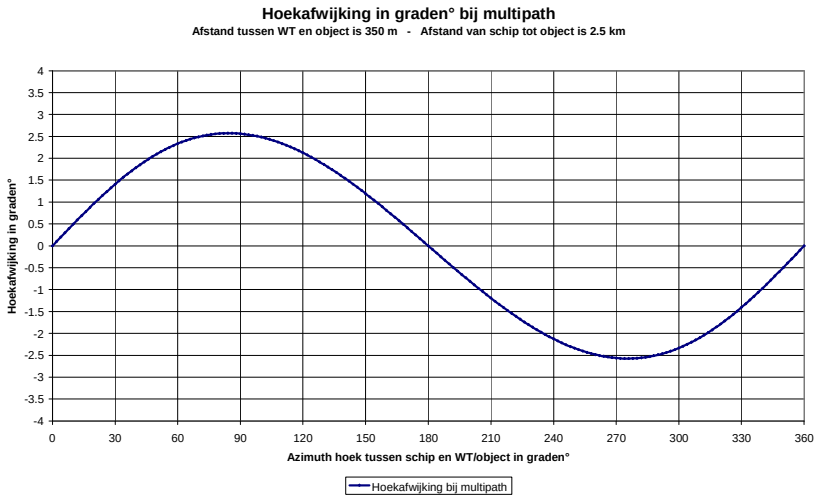


Figuur 70. Hoekafwijking door multipath propagatie bij typische afstanden van 2.5 km

In de volgende grafieken wordt de hoekafwijking gegeven voor waarnemingsschepen die zich op respectievelijk 1 km en 2.5 km van het windturbinepark bevinden, en een schip dat zich slechts op een afstand van 350 m van de windturbine bevindt. Dit is dus het geval voor schepen die zich in het windturbinepark bevinden. In dergelijke gevallen wordt de hoekafwijking dus veel groter en kan gemakkelijk oplopen tot enkele graden.



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

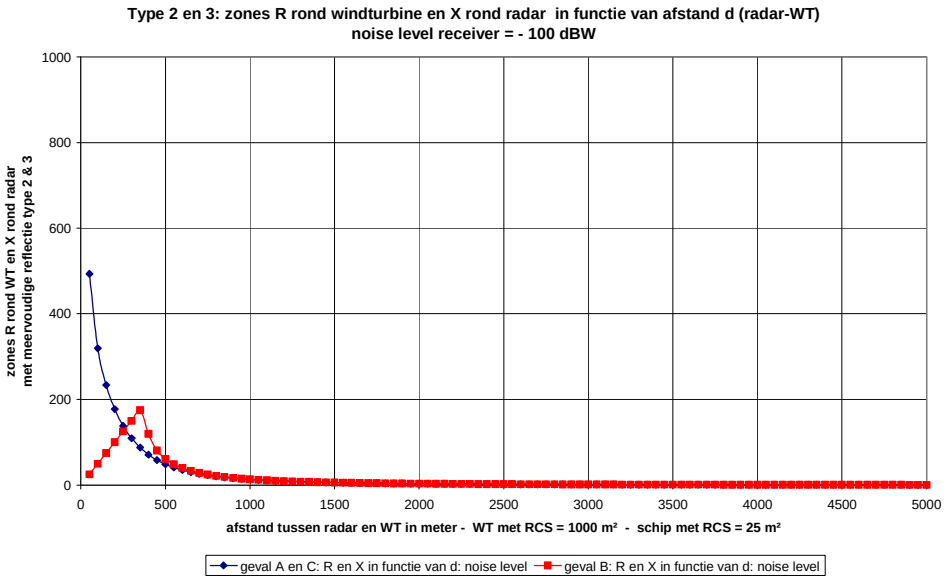


Figuur 72. Hoekafwijking door multipath propagatie bij een afstand van 350 m voor de scheepsradar op 2.5 km

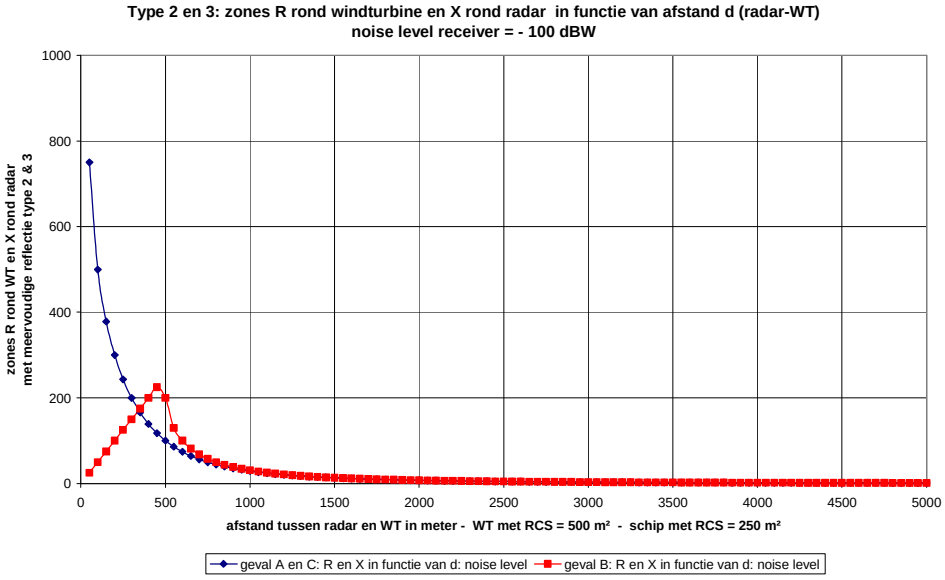
6.8. Specifieke praktijksituaties betreffende de scheepsradar

In de dagelijkse praktijk doen zich meermaals situaties voor waarbij meervoudige reflecties optreden bij de waarnemingen van de scheepsradar. Dit komt enerzijds door de operationele (beperkte) montagemogelijkheden van de radarantenne op het schip, waarbij op korte afstand van de antenne meerdere reflecterende voorwerpen kunnen voorkomen. Anderzijds kunnen op relatief korte afstand andere objecten voorkomen, in casu andere schepen. De radaroperatoren hebben dus met het optreden van meervoudige reflecties en valse echo's een ruimte ervaring, en kunnen deze dan ook plaatsen en correct operationeel interpreteren. Een van de technieken die hierbij ook toegepast wordt is om "ad hoc" de gevoeligheid van de ontvanger tijdelijk te verminderen, zodat valse echo's niet gedetecteerd worden en dus van het scherm verdwijnen.

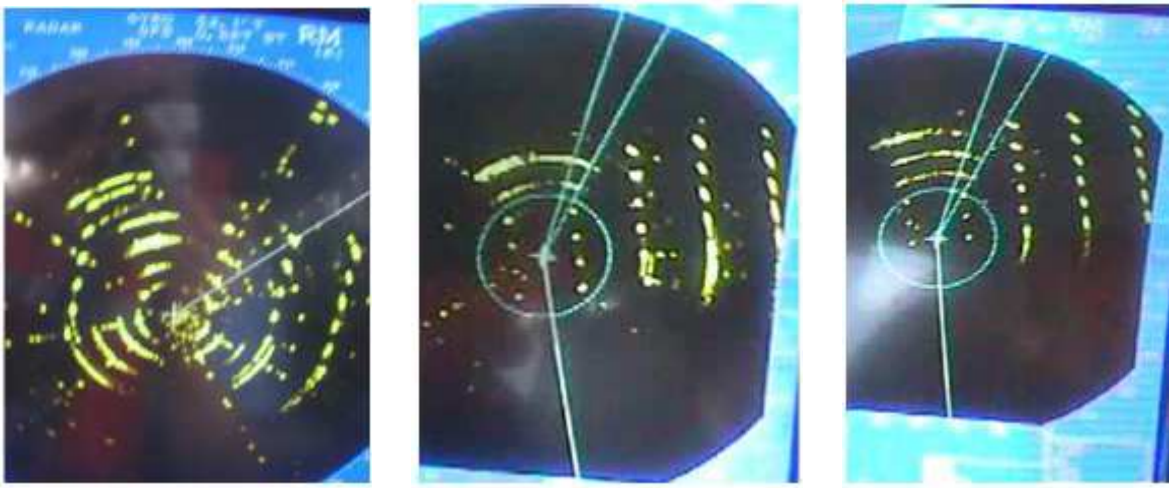
Het effect van een vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger wordt voor twee voorgaande voorbeelden in de volgende grafieken weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat de zones waarin meervoudige reflecties kunnen voorkomen quasi tot onbestaande worden herleid. Het nadeel is echter dat het bereik van de radar evenzeer wordt beperkt. Vandaar dat de techniek er inderdaad in bestaat om dit "ad hoc" volgens de optredende effecten dynamisch in te vullen.



Figuur 73a. Voorbeeld van de vermindering van de zone voor valse echo's door vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger van de scheepsradar



Figuur 73b. Voorbeeld van de vermindering van de zone voor valse echo's door vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger van de scheepsradar



Figuur 73c. Radarbeelden bij vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger
100% gevoeligheid (links), 50% gevoeligheid (midden), 10% gevoeligheid (rechts)

[ref. MCA studie van de North Hoyle wind farm]

Een uitgebreid rapport van de praktijktesten uitgevoerd door QinetiQ in opdracht van MCA (Marine and Coastguard Agency) rond het windpark "North Hoyle" is beschikbaar op het internet.

Het bevestigt de bovenstaande effecten qua meervoudige reflecties, shadowing, dode zones en de relatieve zichtbaarheid binnen een windpark van kleinere schepen en objecten, en de range en azimuth resolutie van de scheepsradar in de nabijheid van windparken:

Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, QinetiQ, November 2004

7. Impactanalyse en cumulatieve effecten van de VHF marifone systemen.

In tegenstelling met de radarproblematiek, dient voor de VHF radiosystemen enkel rekening gehouden te worden met de volgende effecten:

- reikwijdte van het radiostation
- mogelijke shadowing en blinde zones, en vrije Fresnel doorgang
- effect van multipath transmissie

Het frequentiegebied van de marifone VHF communicatie ligt tussen 150 – 160 MHz. Voor de berekeningen wordt een gemiddelde van 150 MHz aangenomen, met dus een overeenkomstige golflengte van 2 m. Verdere typische kenmerken van de VHF systemen voor de stations aan wal kunnen als volgt geresumeerd worden:

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 9. 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 4.

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.

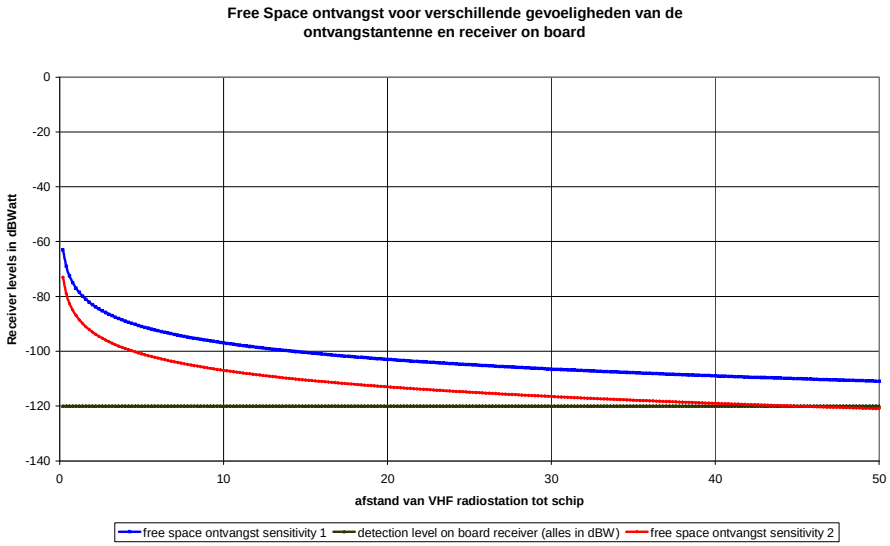
Figuur 74. Typische scheepsmast met radarantennes en communicatieantennes

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

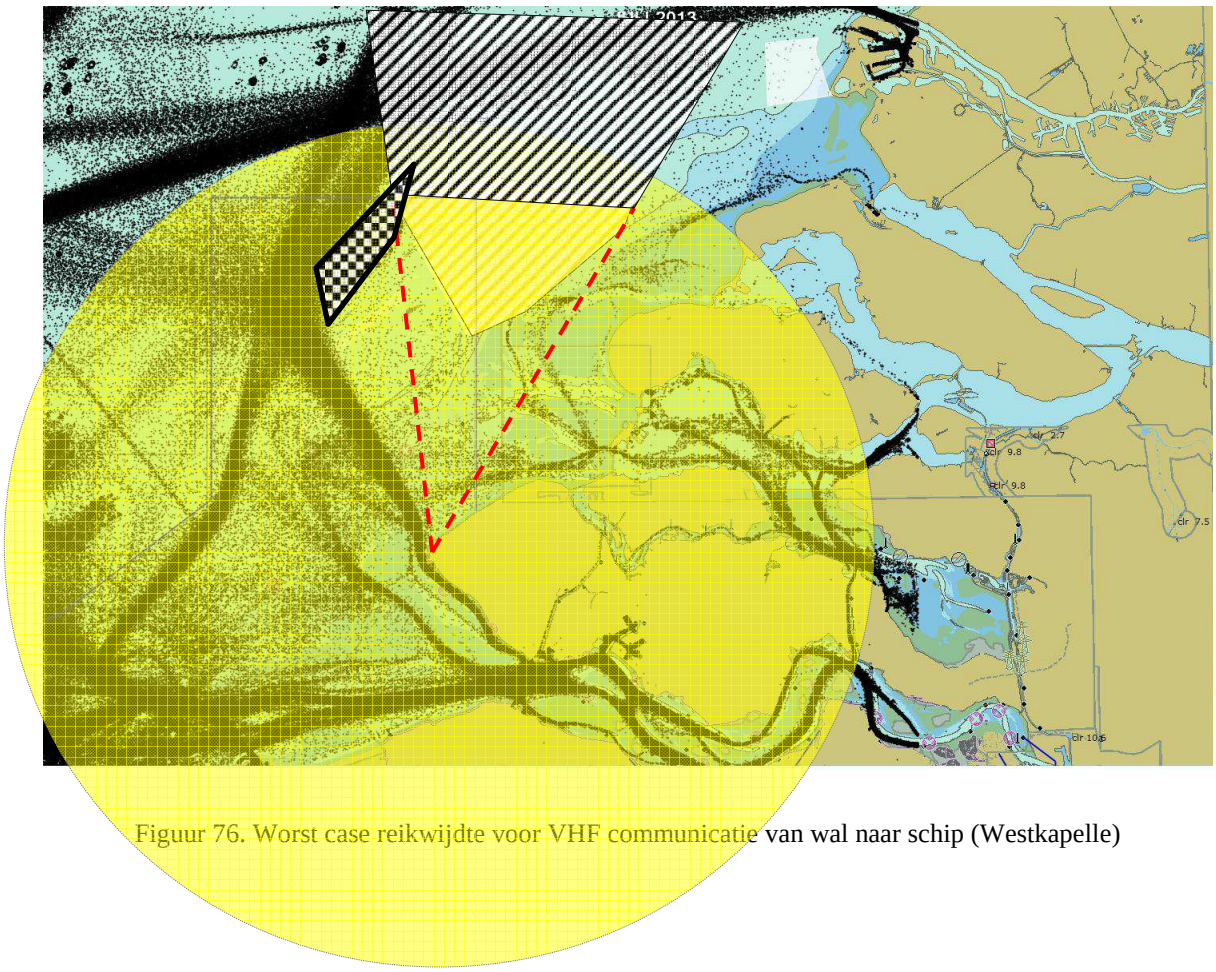
Tabel 10. LoS reikwijdte voor VHF communicatie in functie van antennehoogte aan boord

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.

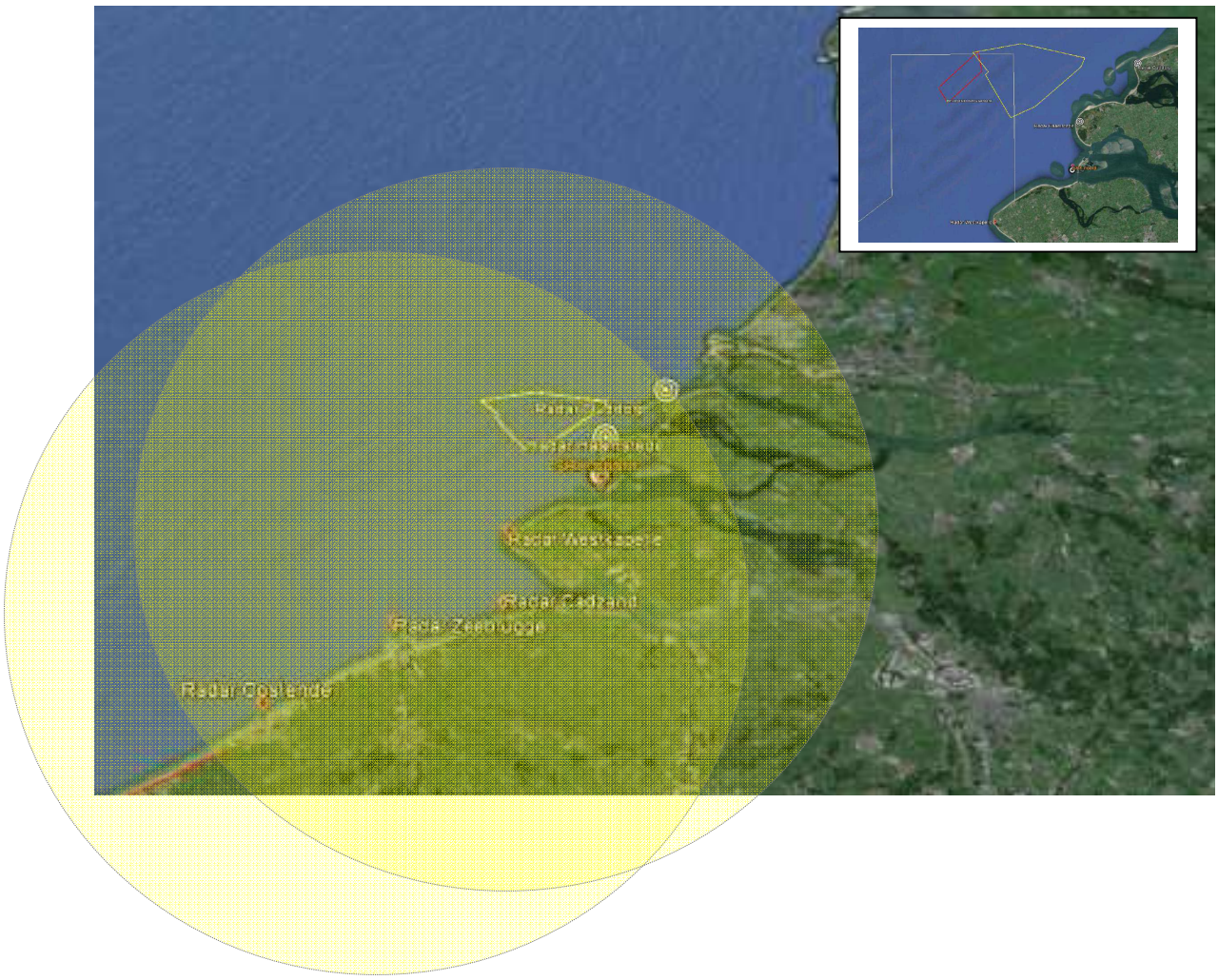


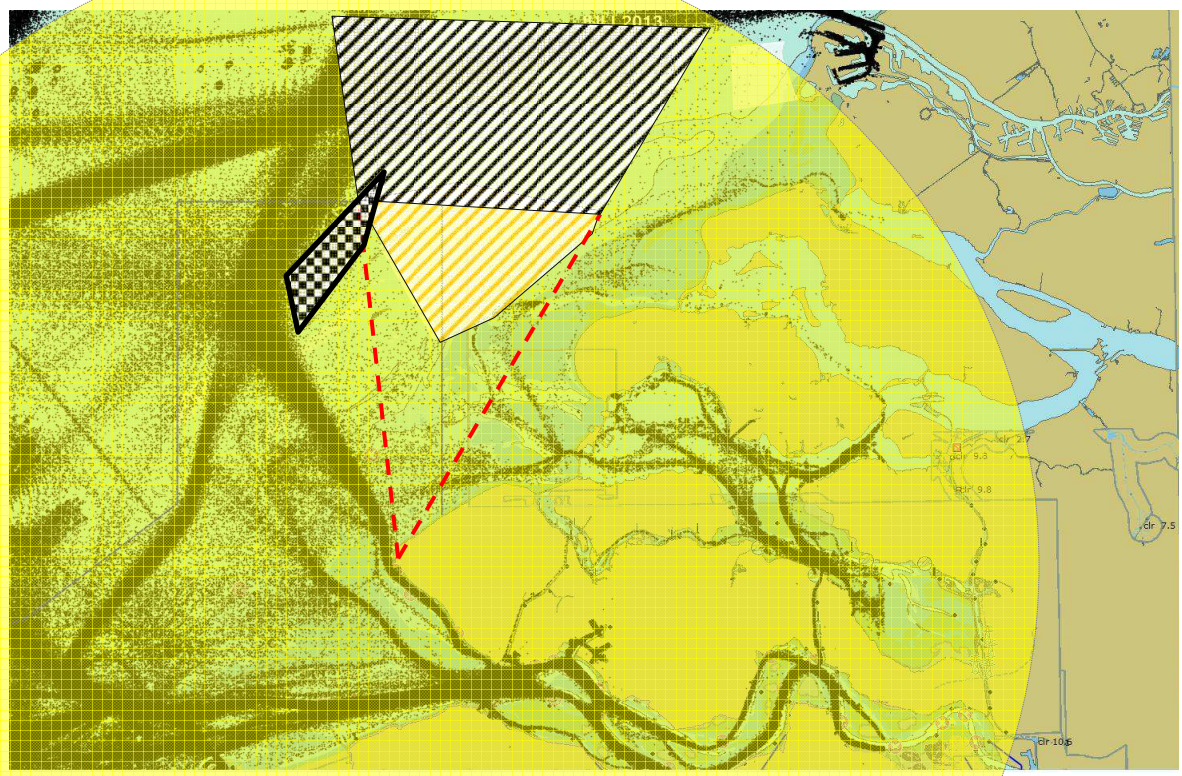
Figuur 75. Typisch zendbereik voor verschillende technische eigenschappen van de boordinstallatie

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 (Westkapelle)



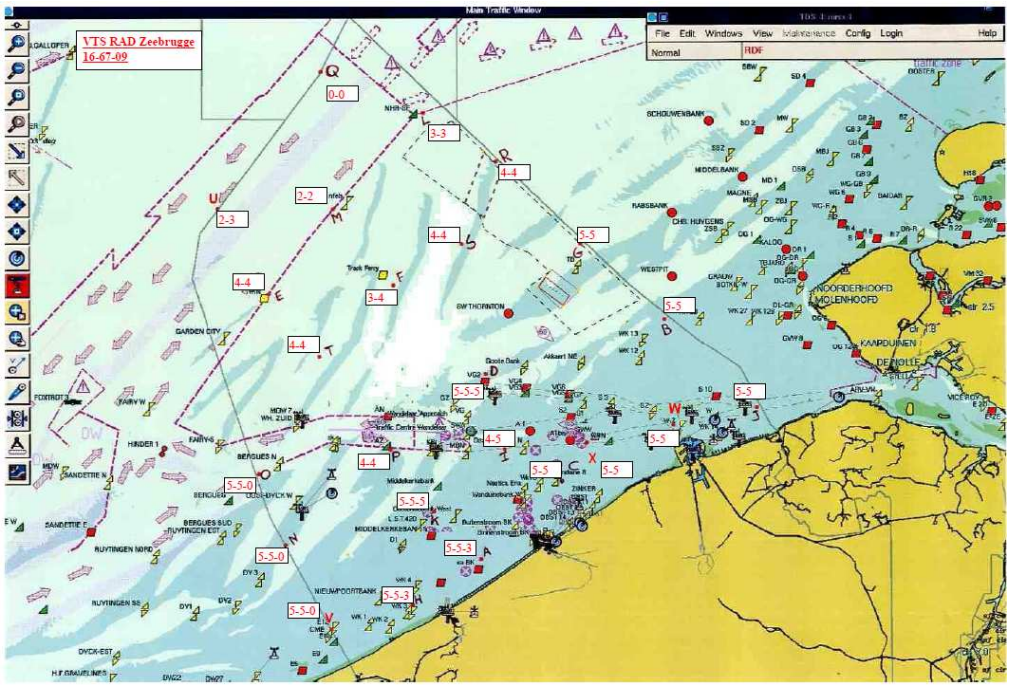


Figuur 77. Best case reikwijdte voor VHF communicatie van wal naar schip (Westkapelle)

In een recent verleden werd door de dienst “Afdeling Scheepvaartbegeleiding/SRK” een testprogramma uitgevoerd voor de Belgische kust 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.
De overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde reikwijdte voor de kanalen op zee (16 en 67) was uitstekend, en toonde aan dat inderdaad de LoS de bepalende factor is voor de VHF communicatie van het SRK netwerk.

Deze conclusies blijven evenzeer geldig voor de omgeving van het zoekgebied “Schouwen”, waarbij het gebied achter het zoekgebied gelegen ten opzichte van het VHF radiostation Westkapelle feitelijk onbereikbaar wordt (zie ook §7.2.).

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.



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

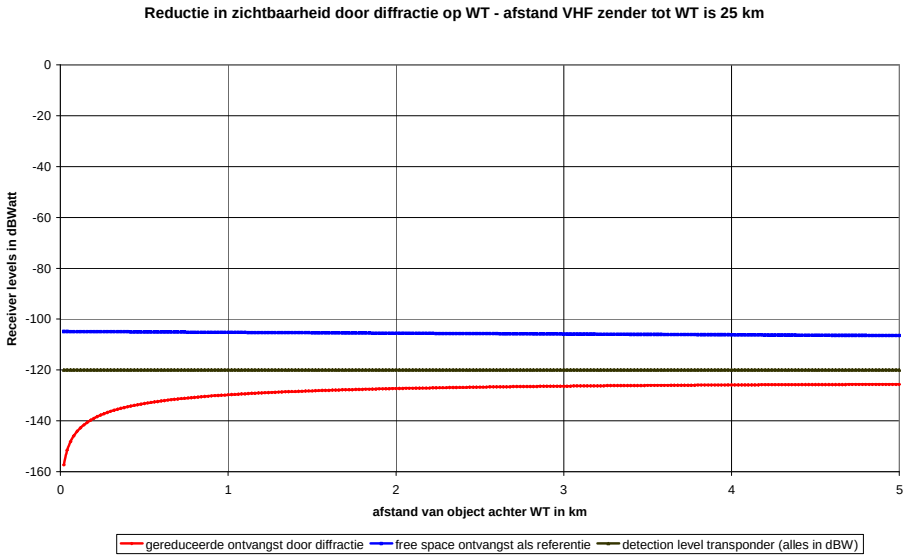
Courtesy van de dienst "afdeling scheepvaartbegeleiding"

7.2. Shadowing en dode zones, en vrije Fresnel doorgang

Voor de effecten van shadowing en dode zones kan een onderscheid gemaakt worden tussen de lange afstandscommunicatie (wal/schip) en communicatie die eerder op korte afstand gebeurt tussen schepen onderling.

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

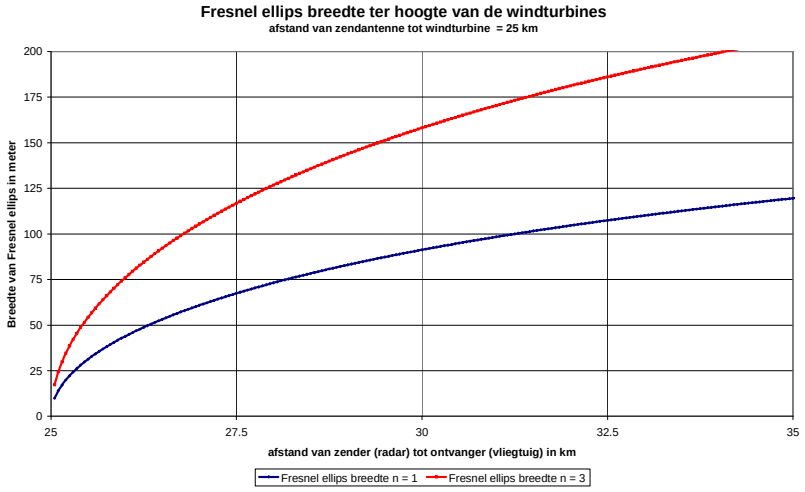
Voor de VHF communicatie zowel aan de westzijde van het zoekgebied "Schouwen" zal er zich geen principiële verandering voordoen ten opzichte van de open zee, behalve voor het duplex co-channel (25) kanaal van Haamstede en Ouddorp. Voor wat de communicatie naar schepen die zich ten noorden van het zoekgebied "Schouwen" betreft zal er zich wel een radioblind gebied voordoen. Voor schepen die zich eventueel in een windpark bevinden betreft, zal er zich een diepe shadowing voordoen in lijn achter een windturbine. In wezen wordt dit zelfs een lijn van "blind" radiogebied. Voor windturbines op een afstand van 25 km uit de kust is dit gegeven in de grafiek van figuur 79.



Figuur 79. Demping van VHF signalen achter een windturbine, op een afstand van 25 km uit de kust

De voorwaarden voor een vrije radio propagatiepad worden in de grafieken van de figuur 80 gegeven, voor windparken op een afstand van 25 km uit de kust gelegen. Als mag aangenomen worden dat de Fresnel protectievoorwaarde beperkt mag blijven tot n=1, dan is communicatie mogelijk indien er een vrije doorgang is tussen windturbines van 2xFresnel ellips of dus van 200 m tot 250 m.

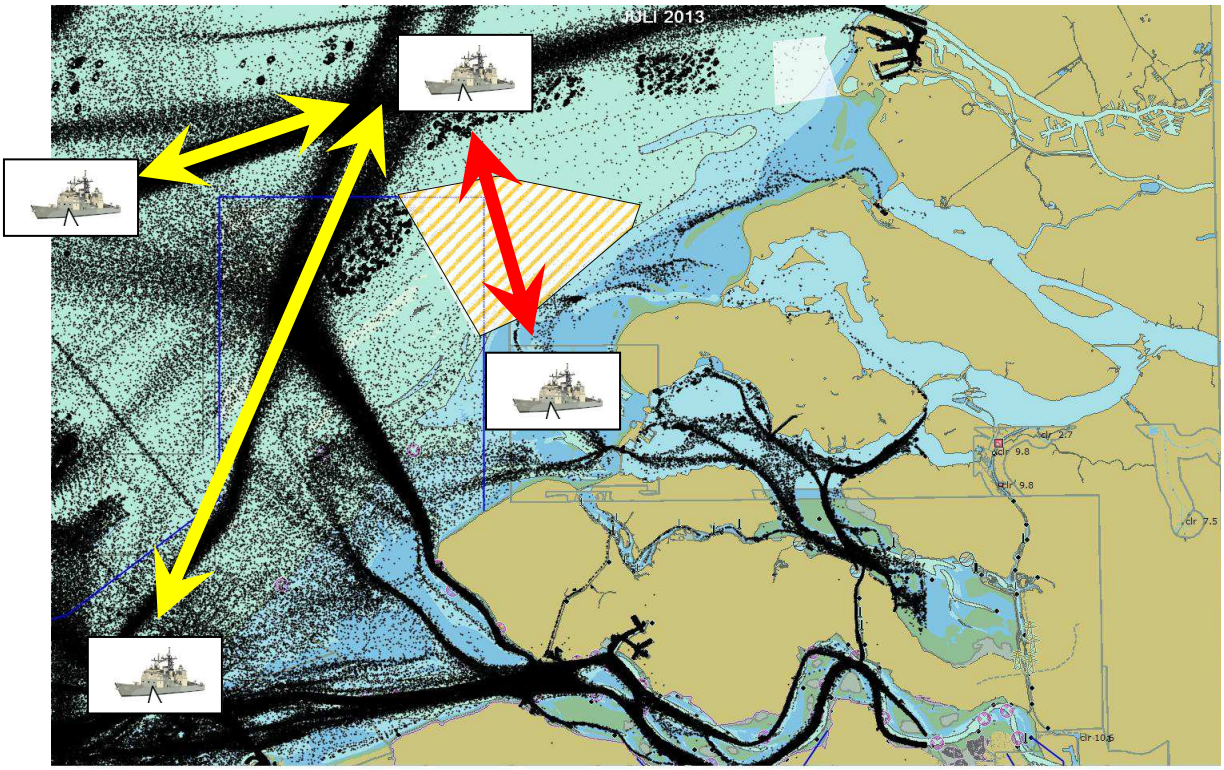
Gegeven de afstanden tussen de windturbines, zal dus een gedeeltelijke (en gestoorde) communicatie mogelijk zijn tot in een windpark, op voorwaarde dat deze radiotechnisch "vrij bereikbaar" zijn. Dit is voor het zoekgebied "Schouwen" het geval.



Figuur 80. Fresnel ellips voorwaarden voor objecten op een afstand van 25 km

7.2.2.VHF communicatie tussen schip en schip (kortere afstand)

Voor de communicatie op kortere afstand tussen schip en schip zal er zich geen wijziging voordoen, voor zover deze zich op de hoofdroutes van het scheepvaartverkeer bevinden (gele pijlen). Het VHF verkeer zal wel verstoord zijn, voor schepen die zich aan verschillende zijden van het zoekgebied (windpark) bevinden (rode pijl).



Figuur 81. Voorbeelden van VHF communicatie tussen schip en schip

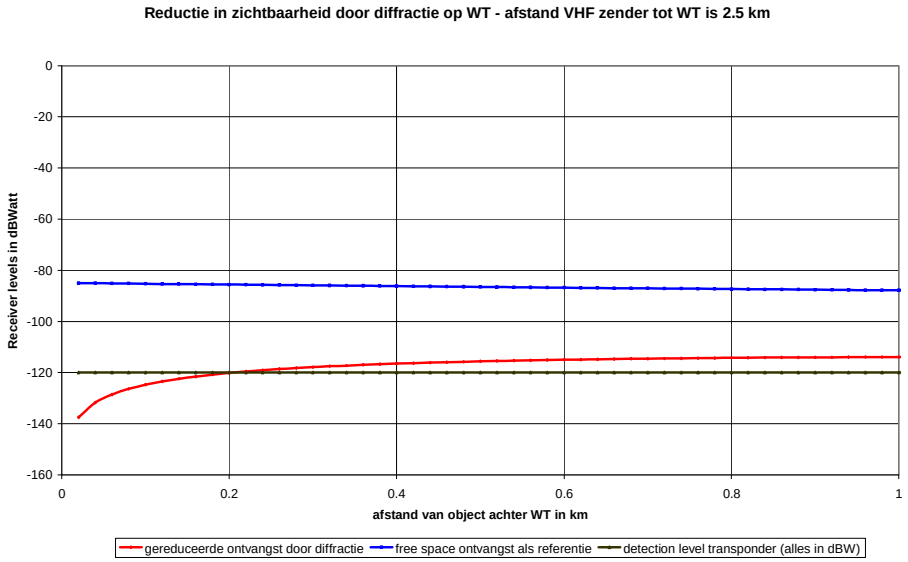
Blijft de vraag omtrent de communicatie van en naar schepen die zich net buiten een windpark en in een windpark zelf bevinden.

Uit praktijktesten om en rond de North Hoyle, Kentish Fish en Nantucket blijkt dat er communicatie mogelijk is, maar dat er op korte afstanden achter windturbines wel gestoorde of zelfs radio-blinde zones kunnen ontstaan.

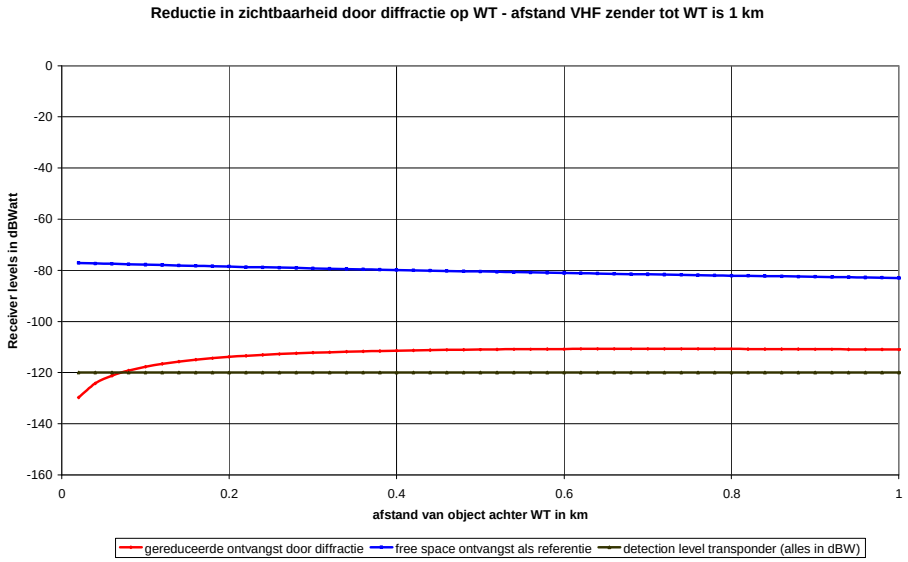
Dit wordt ook bevestigd uit de resultaten van de volgende analyses, waarbij werd nagegaan wat de demping van het radiosignaal is onder de volgende condities:

- een schip op een afstand van 2.5 km van het windpark, voor een ontvanger achter een windturbine (figuur 82a)
- een schip op een afstand van 1 km van het windpark, voor een ontvanger achter een windturbine (figuur 82b)
- een schip binnen het windpark, op een afstand van 350 m tot een windturbine, naar een schip buiten het windpark (figuur 82c)

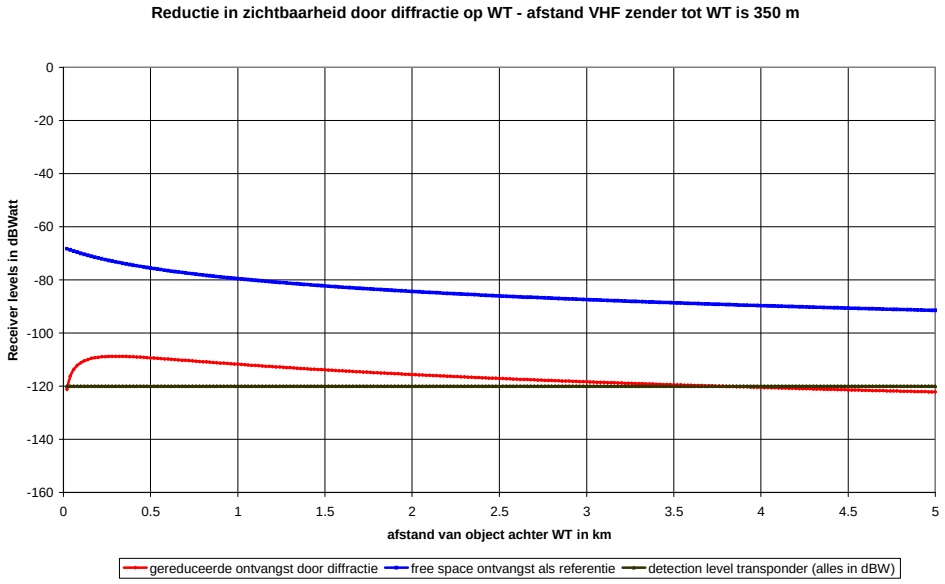
Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit gemiddelde waarden zijn, waarbij aangenomen werd dat de ontvanger aan boord van een schip een gevoeligheid heeft van – 90 dBm (of dus -120 dBW) en de zender een vermogen van 10 W (40 dBm).



Figuur 82a. Demping van een windturbine op een afstand van 2.5 km van de VHF zender



Figuur 82b. Demping van een windturbine op een afstand van 1 km van de VHF zender

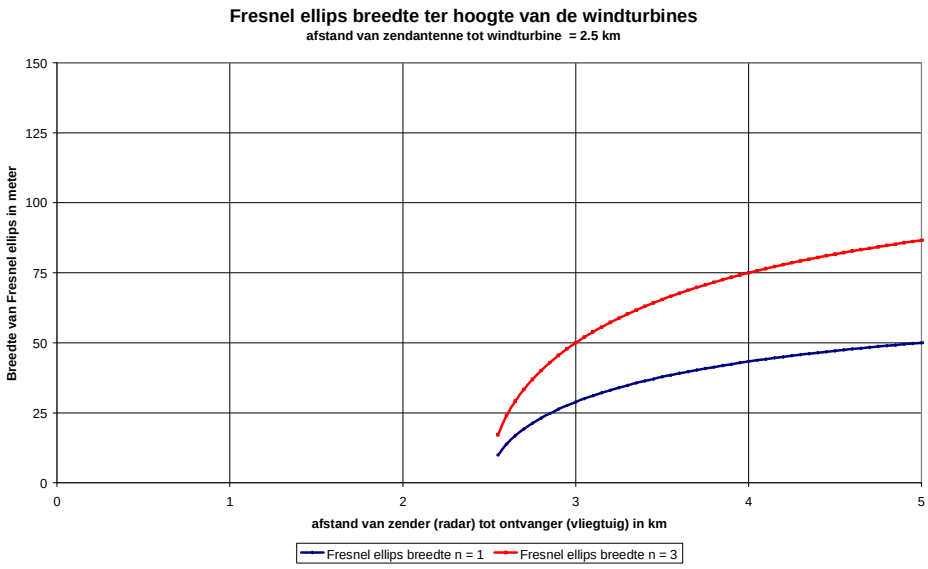


Figuur 82c. Demping van een windturbine op een afstand van 350 m van de VHF zender

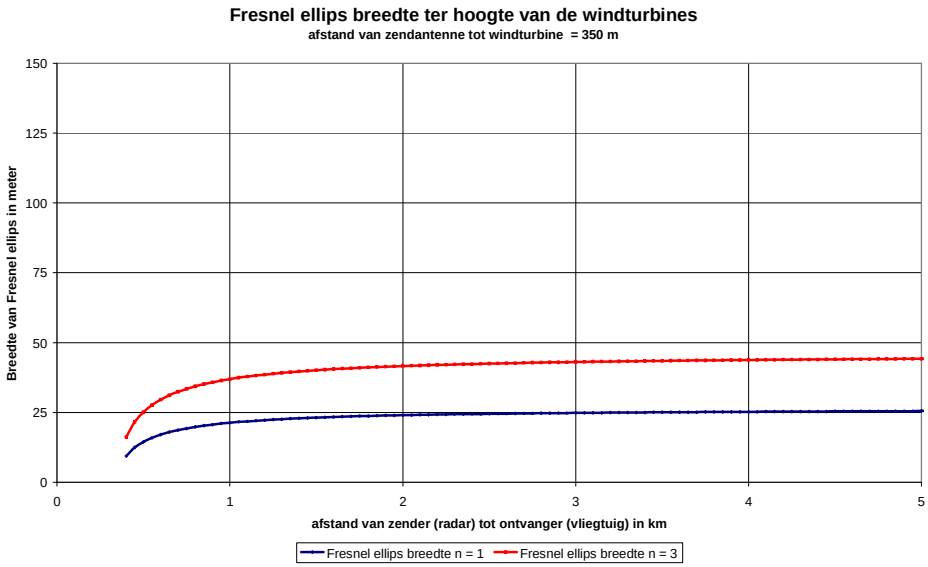
Communicatie zal uiteraard bijna ongestoord mogelijk blijven indien er een voldoende open propagatieweg aanwezig is, zoals door de Fresnel ellips voorwaarden aangegeven.

Voor een schip op een afstand van 2.5 km wordt die voorwaarde dat de afstand tussen twee objecten een propagatieweg moet open houden met een breedte van 100 m, indien een Fresnel protectie voor n=1 voldoende is. Voor een afstand van 350 m tot de windturbine wordt deze Fresnel voorwaarde een beschikbaar propagatiepad met een breedte van 50 m.

Concreet betekent dit dat nagenoeg alle communicatie in en rond een windpark zal mogelijk blijven, gegeven de windtechnische vereisten qua tussenafstanden tussen de windturbines onderling, in de optimale inplanting van de windturbines binnen het gebied. Toch dient er in de praktijk vanuit gegaan te worden dat propagatie doorheen of “over” een windpark moeilijk en zelfs onmogelijk zal zijn. Voorbeelden hiervan werden geschetst in figuur 81.



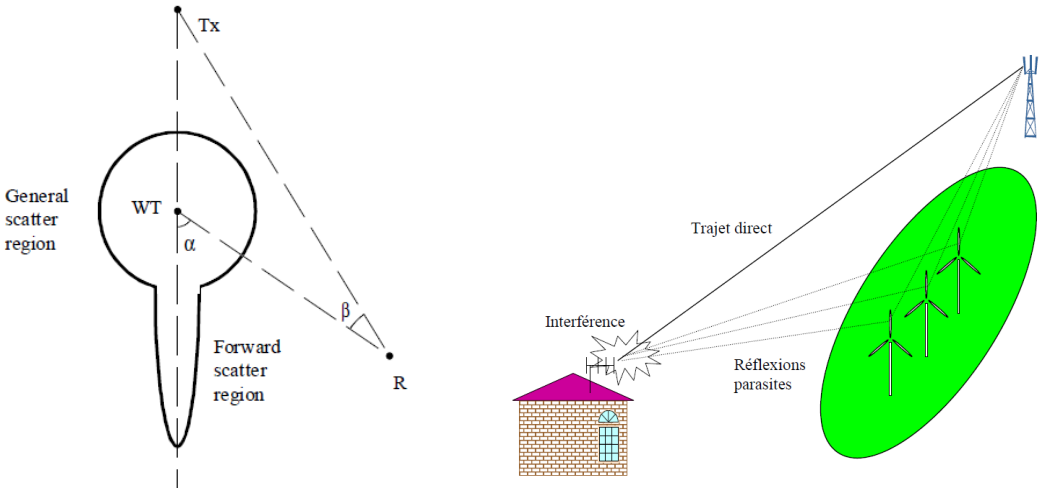
Figuur 83a. Fresnel ellips voorwaarden voor een VHF zender op 2.5 km van objecten



Figuur 83b. Fresnel ellips voorwaarden voor een VHF zender op 350 m van objecten

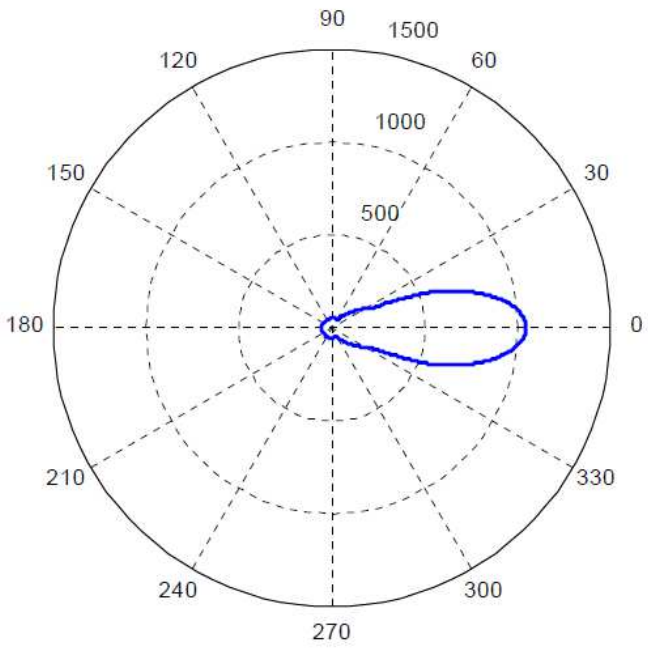
7.3. Effect van multipath transmissie

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 84).



Figuur 84. Principe schema van een multipath transmissie

Bij het directe radiosignaal tussen de zender Tx en de ontvanger R, voegt zich een tweede signaal, via reflectie op een windturbine. Dit tweede signaal zal een zekere demping hebben tegenover het directe signaal, en ook een zekere tijdsvertraging. Bij analoge televisie is dit een bekend verschijnsel, waar de visuele waarneming van het oog ook zeer gevoelig voor is. Voor spraakcommunicatie is dit veel minder het geval. Daarom werd door het ITU (International Telecommunication Union) een richtlijn gepubliceerd omtrent analoge televisie en de impact van multipath transmissie, namelijk ITU-R B.805 *"Assessment of impairment caused to analogue television reception by a windturbine"*. Voor spraakcommunicatie bestaat er echter geen equivalente aanbeveling. Indien er geen obstructie in het directe transmissiepad aanwezig is, mag de zone waarbinnen een verstoring van de radio ontvangst mogelijk is, ingeschat worden zoals in figuur 85 weergegeven. Of grosso modo mag men stellen dat er binnen een invalshoek van 30° een zone van verstoorde radio ontvangst kan aanwezig zijn tot op 1 km van de windturbines.



Figuur 85. 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, effecten en conclusies ervan ook hier blijven gelden. Het volstaat dus te verwijzen naar hoofdstuk §7 van dit rapport voor de impactanalyse van het globale gedrag van het AIS systeem als radio communicatie systeem.

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

Zoals eerder bij de bespreking van de VHF communicatie aangehaald, kunnen reflecties een tweede transmissiepad creëren, zodat dezelfde informatie tweemaal ontvangen wordt. Indien het looptijdverschil tussen beide paden groter dan de toegelaten delay spread wordt, zal het systeem foutieve informatie genereren.

Een delay spread van 100 µsec zou een verschil in transmissieweg van 30 km toestaan.
Voor schepen in de nabijheid van een windturbinepark, en zelfs in het volledige bereik van de scheepvaartbegeleiding, zal een dergelijk verschil in lengte van het transmissiepad dus niet operationeel kunnen voorkomen.

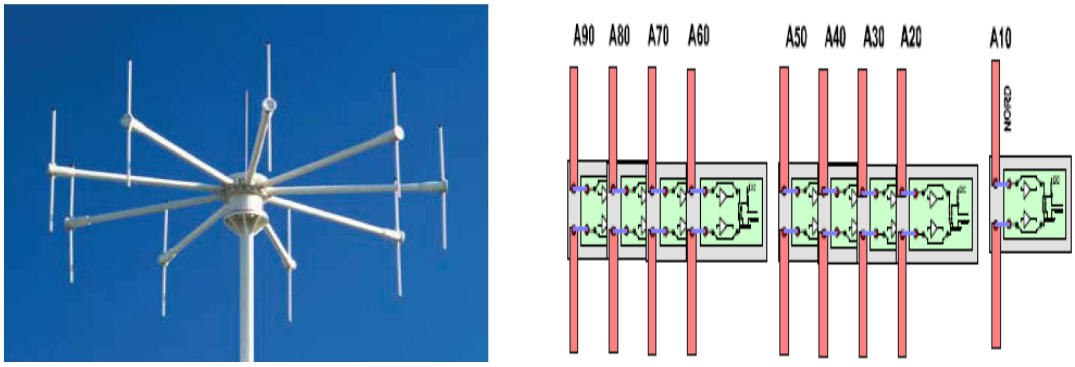
De AIS gegevens worden gekoppeld met de radarwaarnemingen, zoals op de verschillende screenshots in deze studie te zien is.

9. Impactanalyse op het RDF systeelm (Radio Direction Finder)

Bij het RDF peilsysteem wordt een radiosignaal uit de marifone radioband (156.8 MHz) afkomstig van een schip, door het RDF station gecapteerd. Daartoe wordt gebruik gemaakt van een speciale (omnidirectionele) antenne, die via een gepaste signaalverwerking een richting kan peilen.

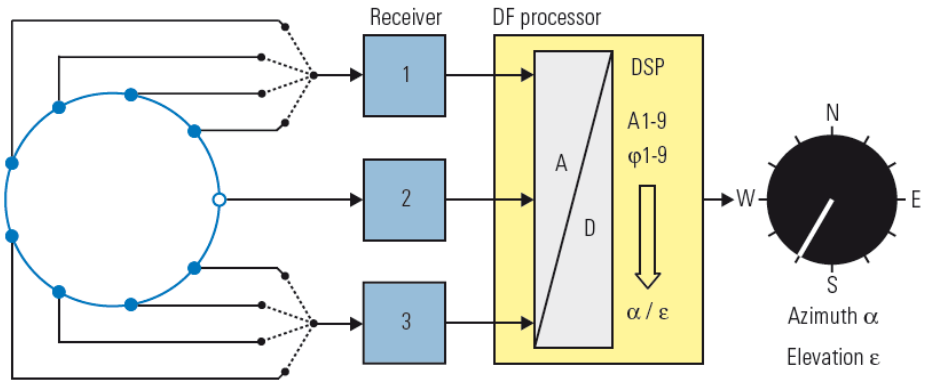
Met behulp van meerdere peilstations kan men uit het snijpunt van de verschillende peilrichtingen, de plaats van het schip bepalen.

De huidige installatie omvat een Rohde&Schwarz ontvanger DDF04E met een antenne type ADD050SR. Er zijn momenteel drie dergelijke RDF installaties operationeel: Oostende, Zeebrugge en Haamstede, waarbij de eerste niet direct van belang is voor deze studie.



Figuur 86. Antenne ADD050SR van de RDF peilstations

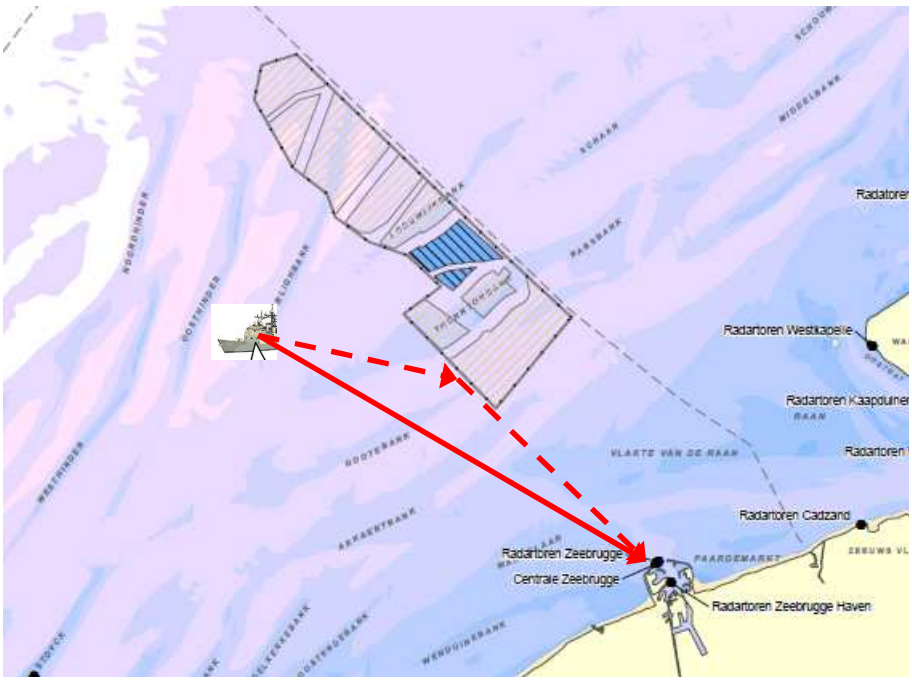
Het systeem bestaat uit 2 groepen van 4 dipoolantennes, die snel worden gescand, en een negende dipoolantenne als referentie. Het principe bestaat erin dat de signalen van telkens twee diametraal tegenover elkaar gelegen antennes tegelijkertijd wordt gemeten. Uit de faseverschillen van de signalen tussen de verschillende combinaties en de referentie antenne wordt door de verdere signaalverwerking (en een bijhorende database) de richting van het invallende signaal bepaald (correlatieve interfero techniek). Deze techniek is fundamenteel een vectoriële analyse van de ontvangen signalen en maakt geen gebruik van mogelijke Doppler technieken. De nauwkeurigheid is gespecificeerd op beter dan 1°.



Figuur 87. Schakelschema van de RDF installatie op basis van R&S DDF04/ADD050SR

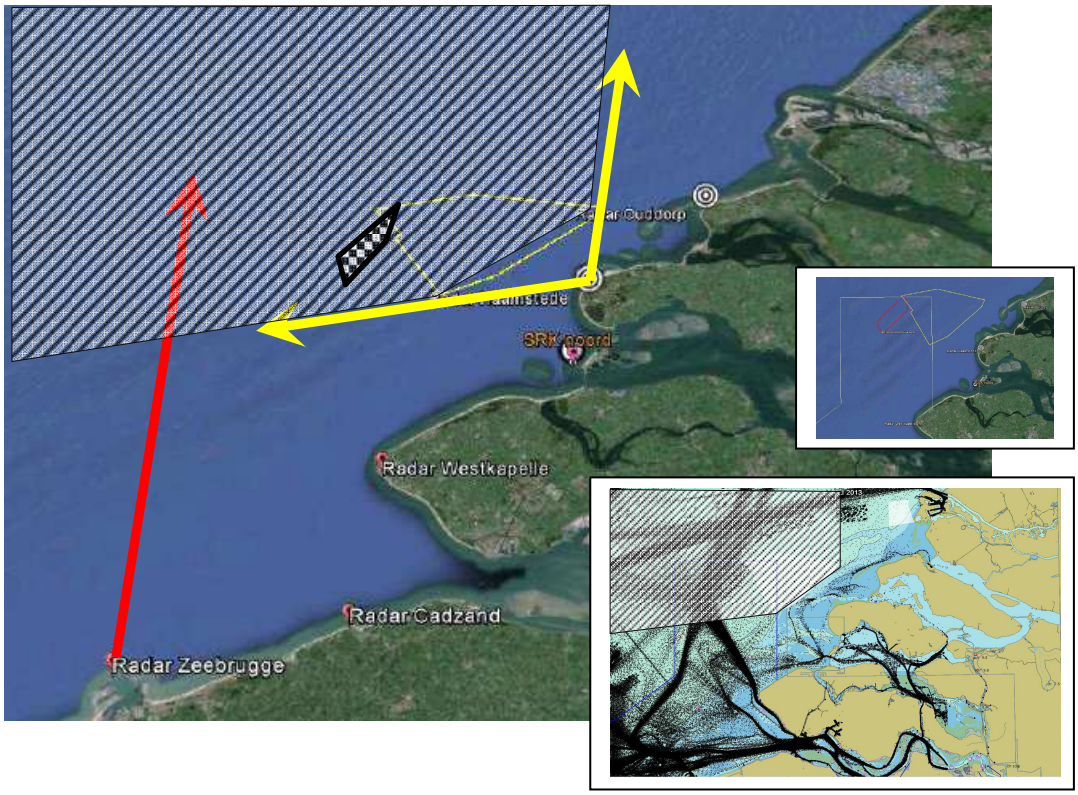
Indien er zich in de omgeving van het rechtstreekse transmissiepad een reflecterend voorwerp bevindt, dan kan een tweede golffront de RDF antenne bereiken, en dit vanuit een andere richting en met een andere fase dan het oorspronkelijke rechtstreekse signaal.

Beide signalen zich samen stellen tot een nieuw signaal, dat als resultante uit een andere richting komt. Dit effect is geschetst in figuur 88 voor het RDF station van Zeebrugge en de windparken in opbouw op het BCP voor de rede van Zeebrugge.



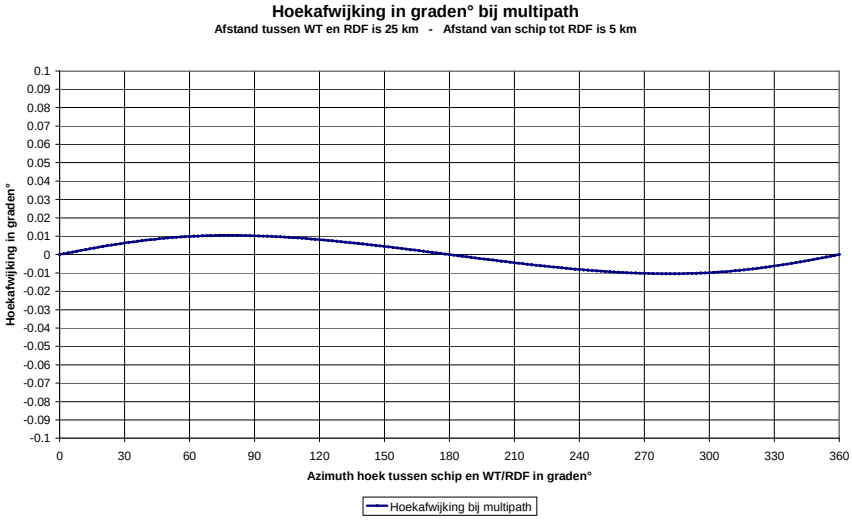
Figuur 88. Principe schets van multipath effect voor het RDF station van Zeebrugge

Praktisch dient gesteld te worden dat het storend signaal voldoende amplitude moet hebben om het oorspronkelijke signaal aanzienlijk te verstoren. Dit is direct afhankelijk van de radio-doorsnede van het reflecterende voorwerp en van de afstand van dit voorwerp tot de RDF antenne. In de volgende grafieken worden windturbines in acht genomen op een afstand van 25 km (Haamstede) en 40 km (Zeebrugge) tot een RDF peilstation.

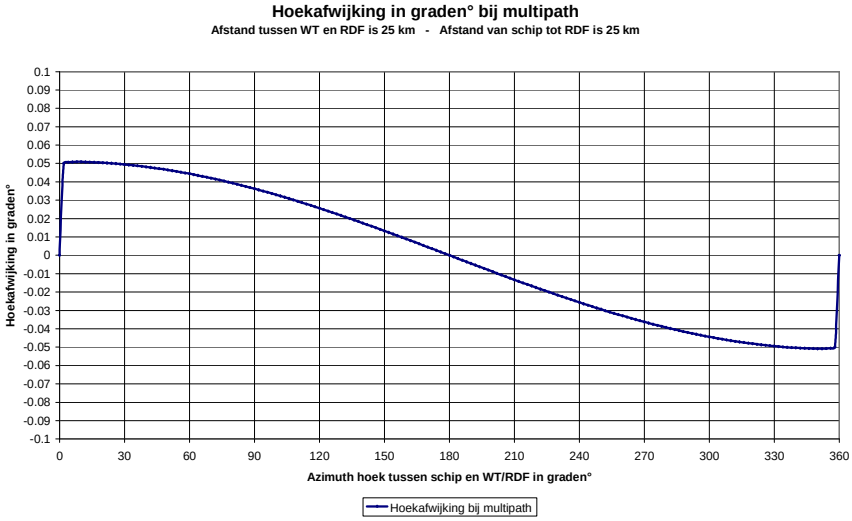


Figuur 89. Dode zone voor het RDF peilstation van Haamstede

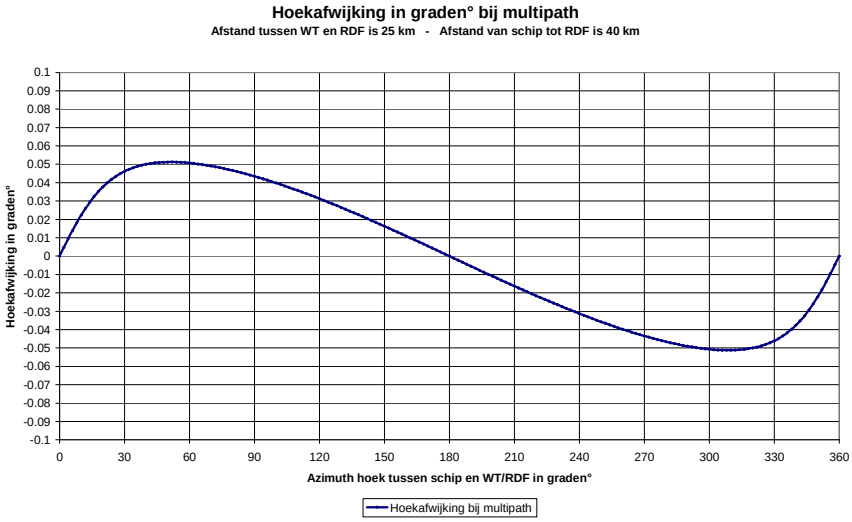
In figuur 89 wordt de dode zone voor het RDF peilstation van Haamstede geschetst en toont meteen de omvang van dit gebied, waarbij een aanzienlijk gedeelte van de drukke vaarroutes in deze omgeving niet gepeild kunnen worden.



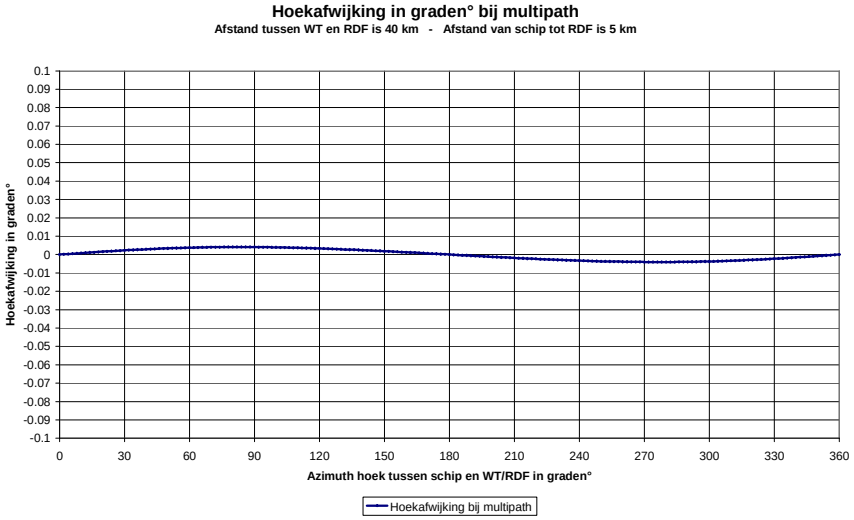
Figuur 90a. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 5 km van het RDF station



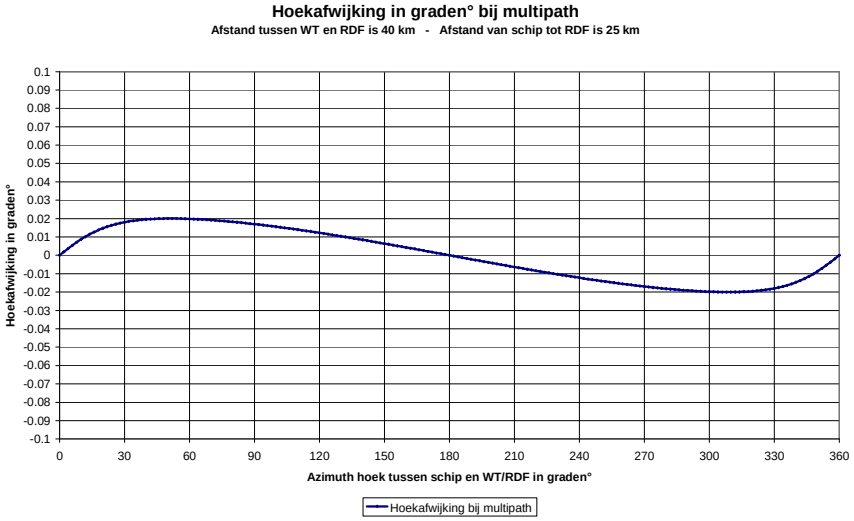
Figuur 90b. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 25 km van het RDF station



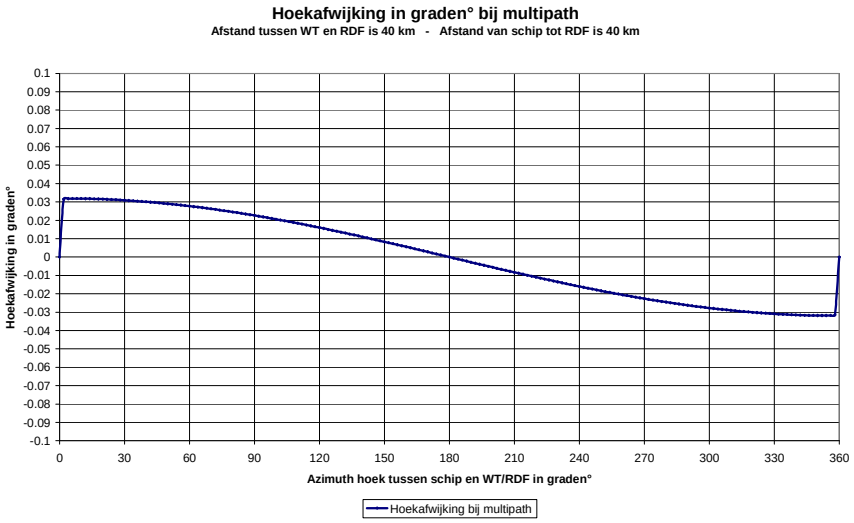
Figuur 90c. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 25 km en een schip op 40 km van het RDF station



Figuur 91a. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 5 km van het RDF station



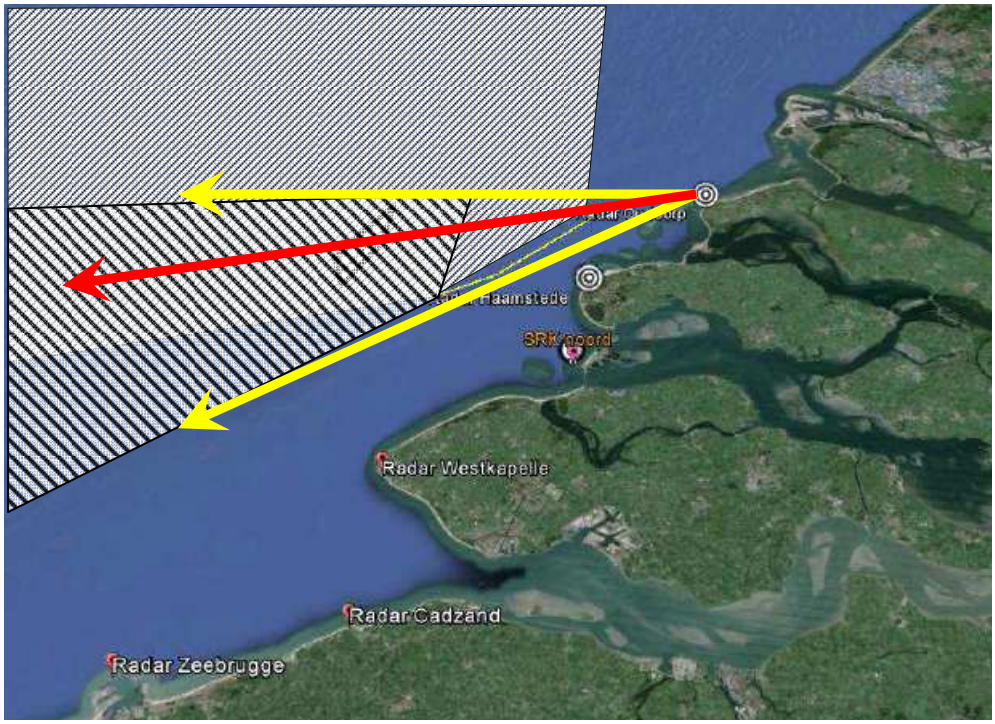
Figuur 91b. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 25 km van het RDF station



Figuur 91c. Hoekafwijking voor RDF bij een object op 40 km en een schip op 40 km van het RDF station

In de RDF bereikbare gebieden kan een fout van ongeveer 0,1° vooropgesteld worden.

Speciale aandacht dient nog besteed aan het RDF station in Ouddorp. Dit is weliswaar niet ingekoppeld in het SRK netwerk, maar de peilrichting is belangrijk bij dringende reddingdsoperaties op zee, die vanuit het eigen controlecentrum worden gecoördineerd. In figuur 92 wordt het gecumuleerde effect weergegeven voor zowel het RDF station van Haamstede (ingekoppeld in het SRK netwerk) en van het afzonderlijke RDF station van Ouddorp.



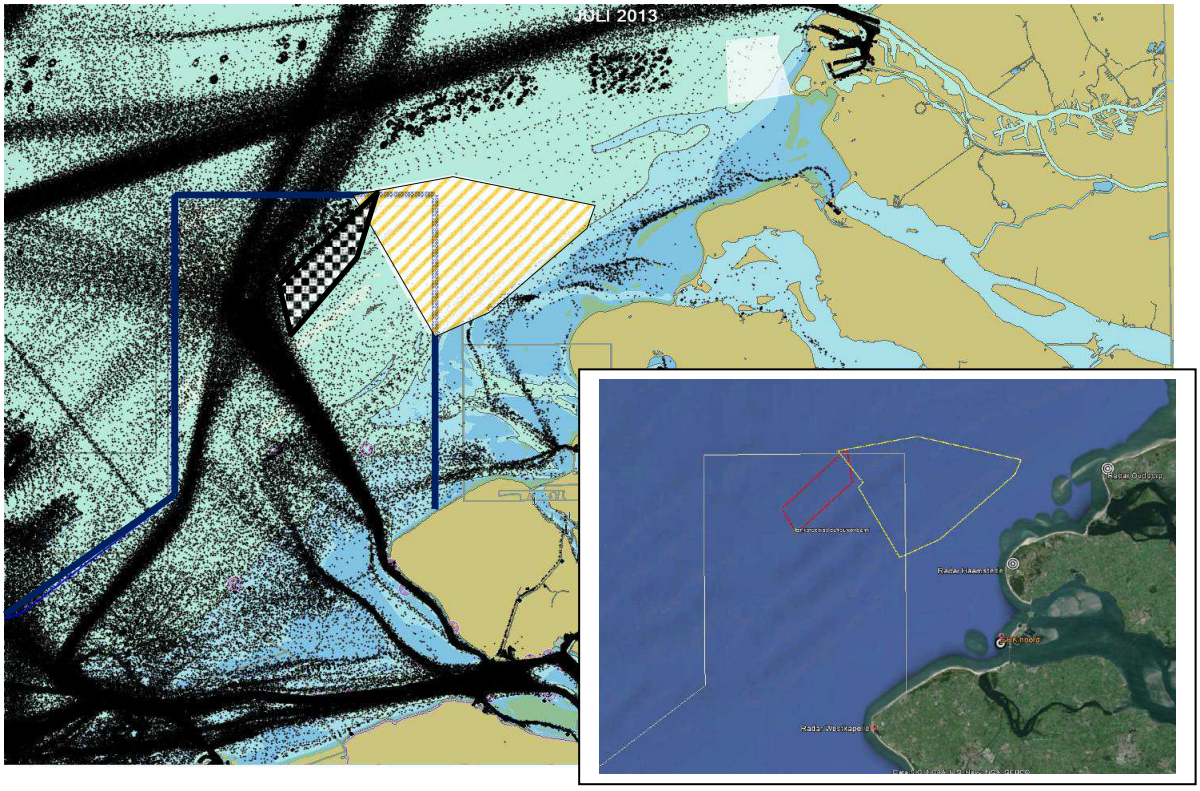
Figuur 92. Dode zones voor het RDF peilstation van Haamstede en van Ouddorp
Het is duidelijk dat een gebied ten westen van het zoekgebied “Schouwen” noch door het RDF station van Haamstede (SRK ingekoppeld), noch door het ‘stand alone’ RDF station van Ouddorp wordt gepeild (dubbel gearceerde zone), wat voor reddingsoperaties niet aanvaardbaar is.

CONCLUSIES

Uit de voorgaande analyses en bijhorende simulaties kunnen de volgende conclusies geformuleerd worden, naar de impact op de operationele werking van de radarsystemen en de marifonie van de SRK installaties, bij een mogelijke inplanting van een windpark in het zoekgebied “Schouwen”.

C1. Impact op de waarnemingen van de SRK walradarstations.

Eerst en vooral dient opgemerkt te worden dat een klein gedeelte van het zoekgebied nog steeds tot het wettelijke werkingsgebied van de SRK walradarketen behoort. 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 93. SRK werkingsgebied in de omgeving van het zoekgebied Schouwen

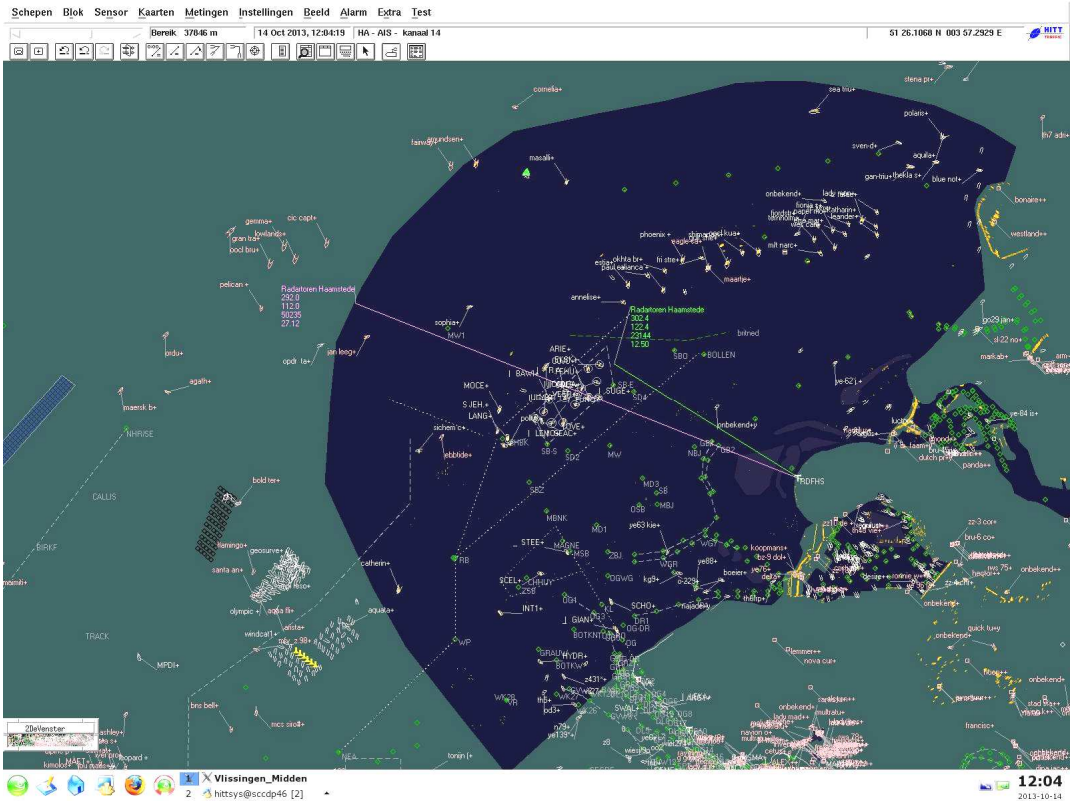
C.1.1. Reikwijdte van de SRK radarstations

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).

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. Dit verklaart ook dat de verder afgelegen windparken nog zichtbaar blijven op de schermen van de SRK walradar (hoogte meer dan 100 m en relatief grote RCS).

Deze effecten zijn duidelijk waarneembaar op de screenshot van figuur 93, waarbij drie projecten op het BCP duidelijk te zien zijn, maar nagenoeg alle schepen op grotere afstand “verdwenen” zijn uit het geregistreerde radarbeeld.



Figuur 94 . Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname), Haamstede

Courtesy van “Afdeling Scheepvaartbegeleiding”

Het is duidelijk dat het zoekgebied binnen het bereik van de SRK radarinstallaties van Westkapelle, Haamstede en Ouddorp ligt, en dat geldt evenzeer voor de nieuwe radar SRK Noord (Neeltje Jans). Dit houdt ook in dat de opvolging achter dit zoekgebied verstoord zal worden, en dat de voorwaarde van dubbele dekking niet meer vervuld zal zijn (zie §5.1.).

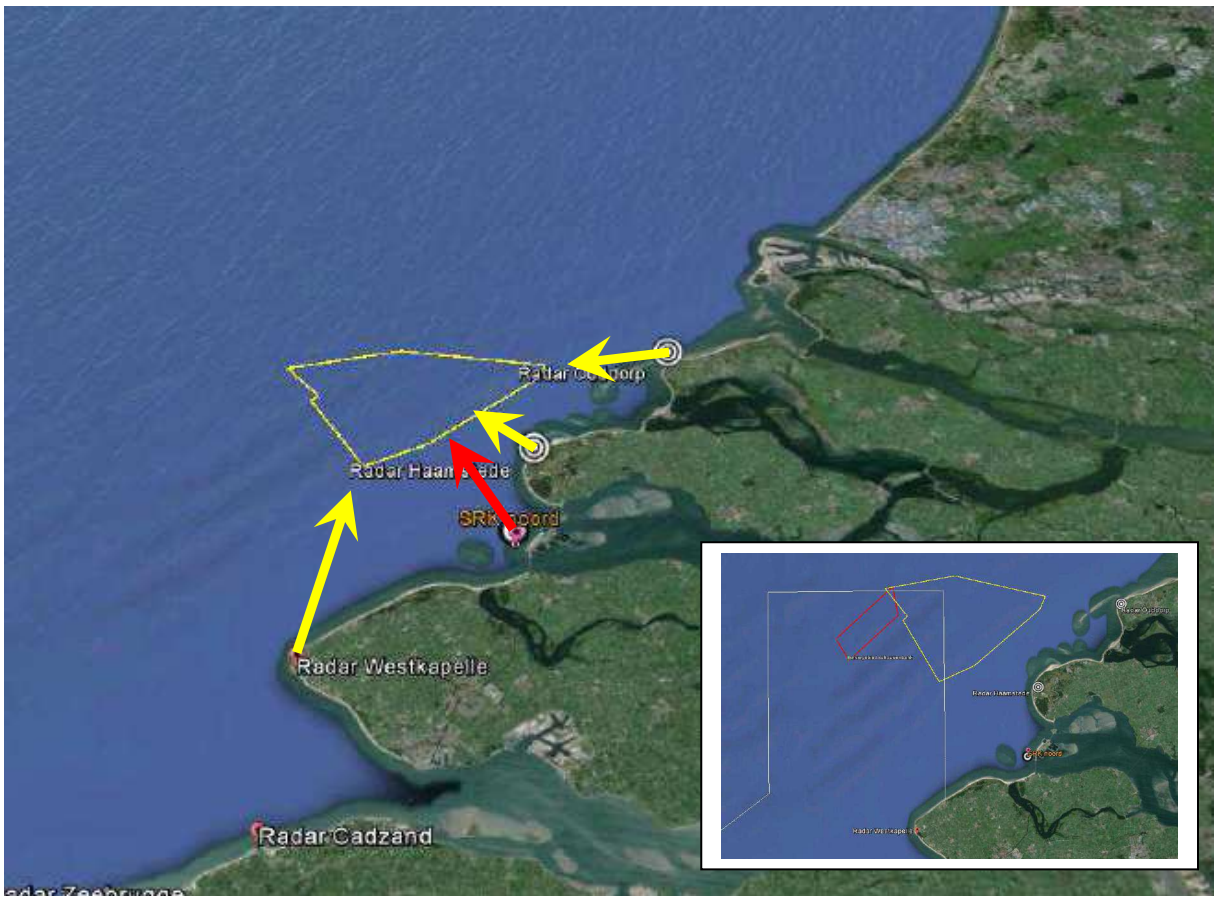
C.1.2. Mogelijke detectie door zijlobes

Uit de voorgaande analyses en simulaties blijkt dat een offshore windturbinepark in het zoekgebied “Schouwen” niet door de zijlobes van de SRK radarinstallaties kunnen gedetecteerd worden, en waardoor ook geen valse of verkeerde beeldvorming kan ontstaan. De afstand, waarbij een zijlobe detectie mogelijk is, ligt immers op 6 km tussen radar installatie en object.

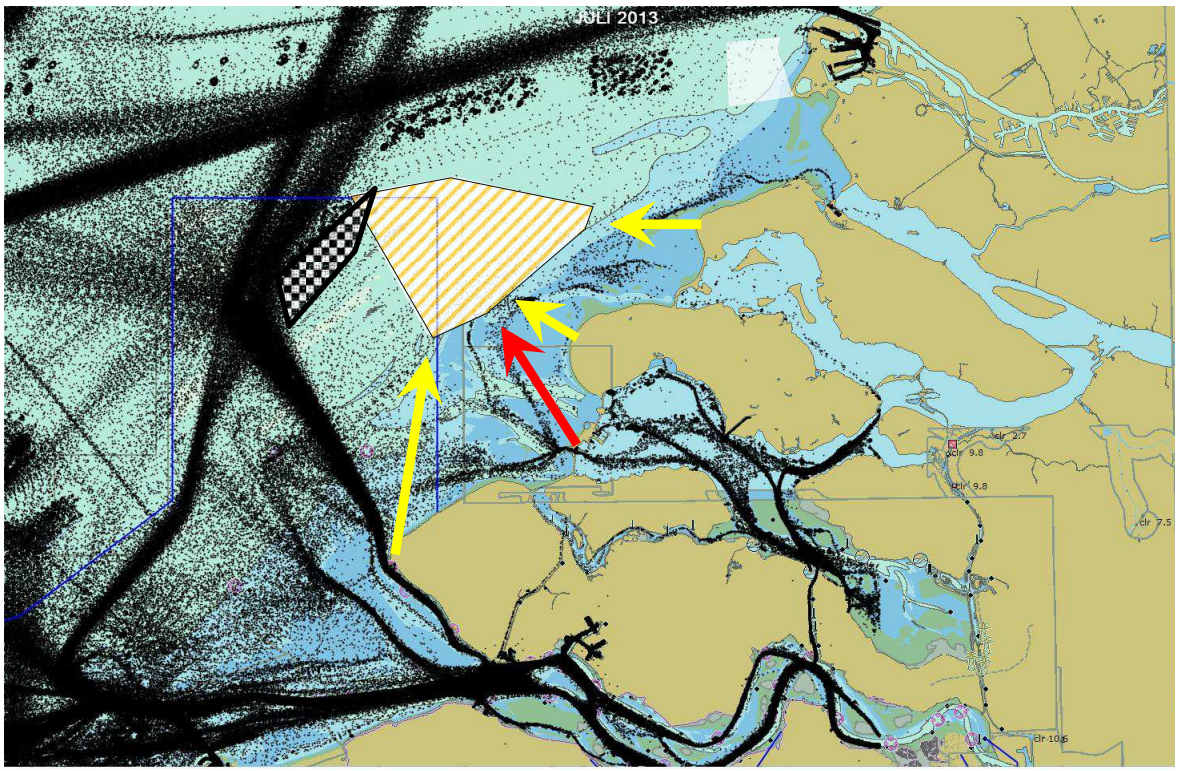
C.1.3. Shadowing en dode zones

Uit de voorgaande analyses en simulaties blijkt dat er telkens achter een offshore windpark in het zoekgebied “Schouwen” een radarblinde zone zal ontstaan voor de SRK radar installaties. Dit betekent concreet dat voor de radars van Westkapelle, Haamstede en Ouddorp, en ook voor SRK Noord (Neeltje Jans) een gedeelte van de scheepvaartroutes niet meer zichtbaar zullen zijn. Dit werd in detail bestudeerd in §5.1. Dit geldt a priori voor een gedeelte van het officiële actiegebied van SRK en het ankergebied Schouwenbank.

In figuur 95 wordt in een schematische voorstelling de richtingen gegeven, waarbij schaduwzones optreden voor de verschillende SRK radarstations, en waaruit blijkt dat in de zone ten westen en ten noorden van het zoekgebied “Schouwen” de dubbele dekking door twee SRK radars verloren gaat, ook bij de ingebruikname van de nieuwe radarinstallatie SRK Noord op de locatie Neeltje Jans.



Figuur 95a. Schematische voorstelling van de richtingen waarin schaduwzones optreden voor de verschillende SRK radarstations



Figuur 95b. Schematische voorstelling van de richtingen waarin schaduwzones optreden voor de verschillende SRK radarstations

C.1.4. Vrije radarpropagatie onder Fresnel condities

Uit de voorgaande analyses blijkt dat er geen oplijning mogelijk is van windturbines tegenover de verschillende SRK radarinstallaties, en dit om windtechnische redenen. Propagatie van de radarsignalen doorheen de offshore windparken zal dus praktisch niet mogelijk zijn. Zoals reeds in C.1.3. gesteld zullen er dus achter deze windparken radarblinde zones ontstaan voor de verschillende SRK radarposten.

C.1.5. 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.

C.1.6. Mogelijke clutter van de draaiende wieken

Fysisch kan een schip zich niet op de plaats van een windturbine bevinden, en bijgevolg ook niet in dezelfde radar-waarnemingscel van een windturbine (evenwel met uitzondering voor de onderhoudsschepen nabij of in een windturbinepark). Daardoor kan er ook geen directe maskering van een schip door een windturbine optreden. De mogelijk variërende reflecties van draaiende wieken is een sterk locaal effect en van een totaal andere aard dan de clutter afkomstig van de zeegolven. De anti-clutter algorithmes zullen in dit geval geen impact hebben op de waarnemingen om en nabij de windturbines en de mogelijke clutter afkomstig van draaiende wieken speelt dus bij de scheepvaart geen enkele rol.

C.1.7. Fouten door diffractie en multi path propagatie

Uit de voorgaande analyses volgt dat de fouten op range (afstand) zich hoogstens tot één waarnemingscel zullen beperken (maximaal 60 m) en in azimut tot een fout van 0.1°. Deze fouten zijn in de praktijk van de radaropvolging van de scheepvaart dus verwaarloosbaar.

Algemeen kan dus gesteld worden dat er zich achter het zoekgebied Schouwen radarblinde zones zullen voordoen ten opzichte van de radarinstallaties van Westkapelle, Haamstede, Ouddorp en SRK Noord (Neeltje Jans), zodat de dubbele dekking van een gedeelte van het officiële SRK actiegebied, met inbegrip van de ankerzone Schouwenbank, en de drukke achterliggende scheepvaartroutes en vrije ankerplaatsen niet meer gegarandeerd wordt.

C.2. Impact op de waarnemingen van de scheepsradar

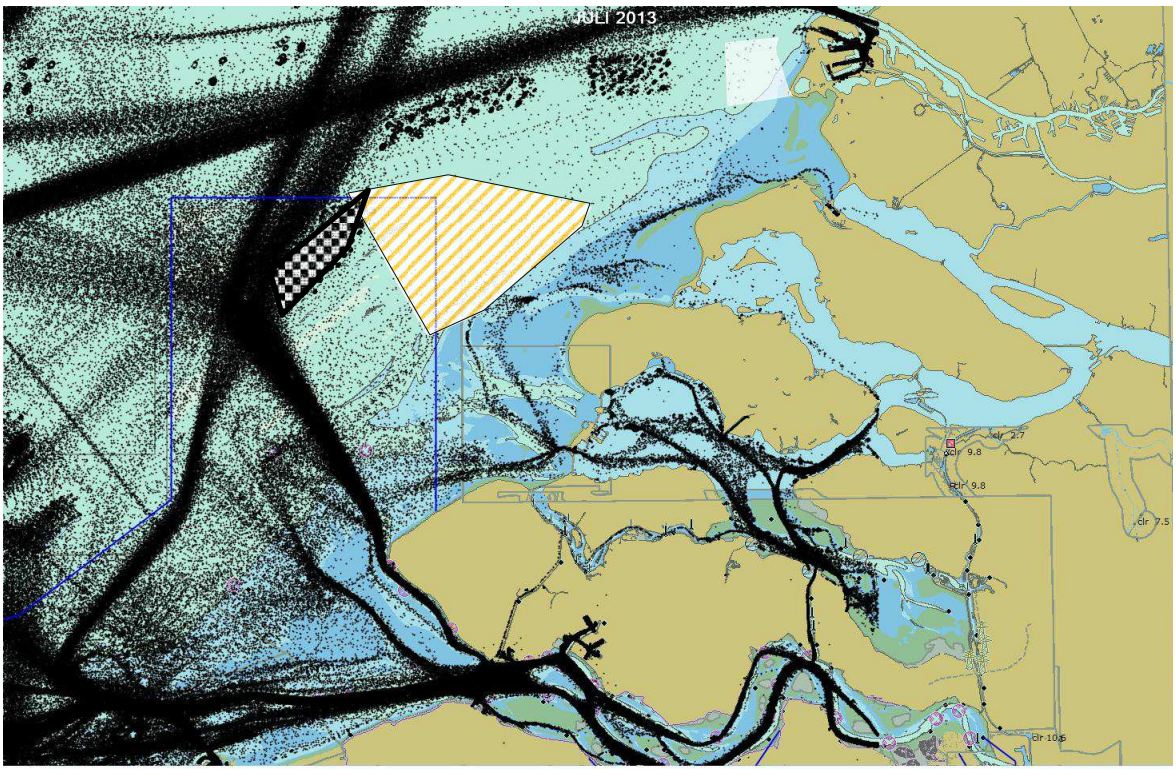
De impact op de scheepsradar heeft te maken met het feit dat de afstanden tussen een scheepsradar en de offshore windparken relatief klein kan worden. De mogelijke effecten manifesteren zich inderdaad binnen afstanden die zich beperken tot ten hoogste enkele km.

Verder zal aandacht dienen besteed aan de overlapping tussen de westelijke ankerplaats "Schouwenbank" en het zoekgebied Schouwen.

C.2.1. Reikwijdte van een typische scheepsradar

De reikwijdte van een typische scheepsradar kan ingeschat worden op ongeveer 25 km en wordt hoofdzakelijk bepaald door de effectieve LoS.

Het is duidelijk dat de drukke zeevaartroutes, en ook de ankerplaatsen, op een relatief korte afstand liggen van het zoekgebied "Schouwen", zodat een aantal effecten ten opzichte van de scheepsradar kunnen optreden.



Figuur 96. Ligging van navigatieroutes en ankerplaatsen tegenover het zoekgebied Schouwen

C.2.2. Mogelijke detectie door zijlobes

Uit de voorgaande analyses en enkele gelijkaardige buitenlandse ervaringen blijkt dat detectie van een windturbine via de zijlobes van de scheepsradarantenne, mogelijk is binnen een typische afstand tot 1,5 km van de windturbines. Dit betekent dat er zich een “valse echo” kan voordoen met een virtueel offshore park op het radarscherm. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat een dergelijk verschijnsel niet eigen is aan de aanwezigheid van een windturbine, 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.
Zie §6 van dit rapport voor een gedetailleerde analyse.

C.2.3. Shadowing en dode zones

Shadowing en radar blinde zones kunnen optreden voor objecten die in lijn liggen van de scheepsradar en een windturbine. Dit verschijnsel is ook maar van belang voor schepen op relatief korte afstand van een offshore windpark (tot 2,5 km). Uit de voorgaande analyses blijkt dat de zichtbaarheid van buitenaf in een windpark en van binnenuit naar het scheepvaartverkeer in de omgeving van windparken toch mogelijk blijft, wanneer de betreffende schepen zich niet in die directe shadowing zone bevinden, zoals dat a priori het geval is bij het buitenvaren van een windpark.

C.2.4. Vrije radarpropagatie onder Fresnel condities

Zoals eerder reeds aangehaald blijft zichtbaarheid vanuit windparken naar het scheepvaartverkeer erbuiten en van buitenaf naar binnen mogelijk onder de Fresnel condities, die op korte afstand slechts een tiental meter vooropstelt. Dit vormt geen probleem gegeven de afstanden tussen de windturbines in de, omwille van windtechnische redenen, voorziene inplanting van de windturbines.

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 windturbines. Dit is echter geen verschijnsel dat zich specifiek voordoet rond windturbines, maar ook 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 (teveel of volledig) verstoord wordt.

C.2.6. Mogelijke clutter door de draaiende wieken

Er zijn geen specifieke clutter algorithmes geïmplementeerd bij de signaalverwerking van een scheepsradar en de mogelijke clutter zal zich dus slechts manifesteren in de waarnemingscel waarin een windturbine zich bevindt. In de praktijk stelt de bijhorende maskering geen probleem, want een schip kan zich niet in dezelfde waarnemingscel bevinden.

C.2.7. 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 geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft. De meeste fenomenen zijn nu reeds bekend wanneer zich een voldoende groot object (in casu ander schip) in de nabijheid van de eigen scheepsradar bevindt. In de meeste gevallen betreft het zelfs een mast of ander object aan boord van het eigen schip dat oorzaak van foutieve beeldvorming is. De radaroperator aan boord/stuurman of schipper is dan ook met deze verschijnselen voldoende vertrouwd. Enkel voor de opvolging van het scheepvaartverkeer in een windturbinepark, of voor de opvolging vanuit een windturbinepark dient de opmerking gemaakt dat er zich direct achter windturbines dode zones kunnen voordoen, maar dat tussenin de transparantie voldoende gegarandeerd blijft.

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. Clutter door de draaiende wieken is voor de VHF radiocommunicatie niet van toepassing is.

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.

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

Uit de voorgaande analyses blijkt dat achter een offshore windpark in het zoekgebied "Schouwen" er een radioblinde zone zal ontstaan voor de SRK marifone installaties. Dit betekent concreet dat voor de VHF radiostations een gedeelte van de zeevaartroutes niet meer bereikbaar zal zijn.

Voor de communicatie tussen de schepen onderling zal er zich geen noemenswaardig verschil voordoen voor de schepen op de grote zeevaartroutes zelf. Radiocommunicatie blijft mogelijk voor schepen die zich in en nabij de offshore windparken (onderhoud) bevinden, maar communicatie doorheen en over de windparken zal gestoord tot onmogelijk 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 de windparken. 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 de aanwezigheid van de offshore parken. Dit geldt zowel voor de communicatie tussen schip en wal, en schip naar schip.

C.3.4. Mogelijke impact op de RDF en AIS systemen

Verder dient gesteld te worden dat de realisatie van een offshore windpark in het zoekgebied "Schouwen" een directe invloed zal hebben op zowel de werking van de AIS systemen, als van de RDF systemen van de installaties in Westkapelle, Haamstede en Ouddorp. Specifiek voor het RDF systeem betekent dit het verlies van één van de peilrichtingen ("pijlen"), waardoor een positiebepaling van schepen in een grote zone niet meer mogelijk zal zijn.

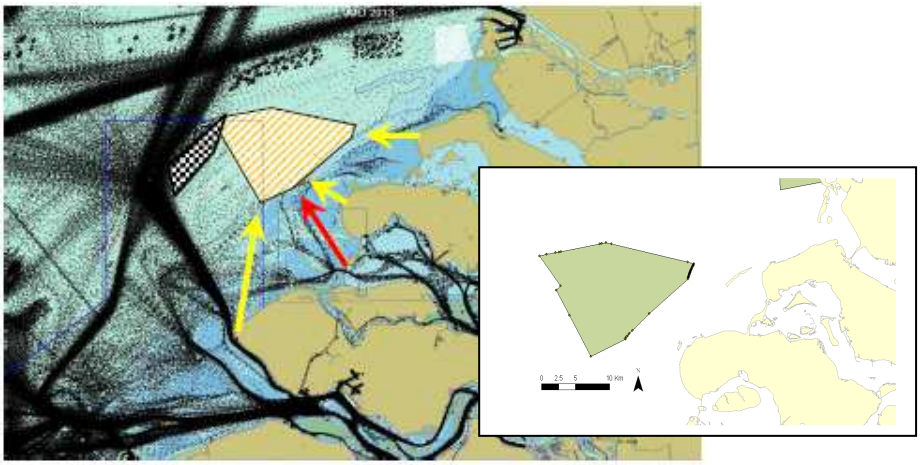
Algemeen kan dus gesteld worden dat met betrekking tot de SRK VHF radiostations er zich radioblinde zones zullen voordoen achter een windpark in het zoekgebied Schouwen. Dit geldt evenzeer voor de RDF en AIS installaties

Voor scheepvaartverkeer rondom de offshore windparken is de nodige aandacht vereist in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek, waarbij de radio communicatie DOORHEEN de windparken tussen schip en schip verstoord tot quasi onmogelijk zal zijn.

SAMENVATTING (Executive summary)

In deze studie werd nagegaan wat de mogelijke invloed is van de inplanting van een windmolenpark in het zoekgebied "Schouwen", met betrekking tot de normale werking van de SRK-radar, de scheepsradar en de verschillende marifone communicatiesystemen.

Deze studie gebeurt bijgevolg in het kader van Art. 7 van het Radarverdrag van 29 november 1978: ***"Er zullen geen werken worden opgericht die de radaruitzendingen belemmeren of de overdracht van informatie verhinderen".***



Figuur S1. Ligging van het zoekgebied "Schouwen" ten opzichte van de kust van Zeeland

Hierbij wordt een samenvatting gegeven van de effecten ten opzichte van de verschillende radar en radio communicatiesystemen die in dit gebied operationeel zijn.

Vooreerst dient de huidige overlapping tussen de westelijke ankerplaats "Schouwenbank" en het zoekgebied "Schouwen" vermeld te worden, waarbij een aanpassing van de afbakeningen nodig zal zijn. In deze studie werd de afbakening van het zoekgebied "Schouwen" aangehouden, zoals op dit moment bekend (zie figuur S1).

S1. Mogelijke effecten op de walradar installaties van SRK

Het zoekgebied "Schouwen" ligt volledig binnen de reikwijdte van de radars van Westkapelle, Haamstede, Ouddorp en SRK Noord (Neeltje Jans). Derhalve zal er een impact zijn van een windpark in het zoekgebied "Schouwen" op deze radarwaarnemingen.

Relevante effecten

Algemeen kan gesteld worden dat er zich achter het zoekgebied Schouwen radarblinde zones zullen voordoen ten opzichte van de radarinstallaties van Westkapelle, Haamstede, Ouddorp en SRK Noord (Neeltje Jans), zodat de dubbele dekking van een gedeelte van het officiële SRK actiegebied, met inbegrip van de ankerzone Schouwenbank, en de drukke achterliggende scheepvaartroutes en vrije ankerplaatsen niet meer gegarandeerd wordt.

Niet-relevante effecten

Er kan gesteld worden dat er geen valse echo's zullen waar te nemen zijn door zijlobe detectie en door meervoudige reflecties. De azimuth fouten door multipath propagatie zullen beperkt blijven tot 0.1°, wat binnen de nauwkeurigheid van de radarbundel valt.

S2. Mogelijke effecten op de scheepsradar

De impact op de scheepsradar heeft te maken met het feit dat de afstanden tussen een scheepsradar en de offshore windparken relatief klein kan worden. De mogelijke effecten manifesteren zich inderdaad binnen afstanden die zich beperken tot ten hoogste enkele km.
Deze effecten zijn niet specifiek voor het zoekgebied "Schouwen", maar gelden algemeen in de omgeving van een offshore windpark.

Algemeen kan daarbij gesteld worden dat met betrekking tot de operationele werking van de scheepsradar er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft. Fenomenen van foutieve beeldvorming zijn voldoende bekend wanneer zich een voldoende groot object (een ander schip dan wel eigen masten) in de nabijheid van de eigen scheepsradar bevindt.
Op korte afstand (kleiner dan 1 km tussen schip en windturbine) kunnen er zich wel azimuth fouten voordoen, bij de positiebepaling van een ander schip of object.

Relevante effecten

Voor de opvolging van het scheepvaartverkeer in een windturbinepark, of voor de opvolging vanuit een windturbinepark dient er rekening mee gehouden dat er zich direct achter windturbines dode zones kunnen voordoen, maar dat tussenin de transparantie voldoende gegarandeerd blijft.

Voor de scheepsradar kunnen er zich wel valse echo's (en dus foutieve beeldvorming) voordoen door detectie via de zijlobes van de radarantenne.

Niet-relevante effecten

Er kan gesteld worden dat er zich geen valse echo's zullen voordoen ten gevolge van meervoudige reflecties. Ook de invloed van mogelijke clutter door de draaiende rotor zal minimaal tot niet-bestaande zijn. Vanaf een afstand van meer dan 1 km tussen schip en windturbine, zullen de azimuth fouten door multipath propagatie beperkt blijven tot 0.1°, wat binnen de nauwkeurigheid van de radarbundel valt.

S3. Mogelijke effecten op de marifone communicatiesystemen

Het zoekgebied "Schouwen" ligt volledig binnen de reikwijdte van de verschillende VHF communicatiesystemen, met stations op de locaties van Westkapelle, Haamstede, Ouddorp en SRK Noord (Neeltje Jans). Derhalve zal er een impact zijn van een windpark in het zoekgebied "Schouwen" op deze verschillende marifone systemen.
Dit geldt niet alleen voor het werkingsgebied van SRK, met inbegrip van de belangrijke ankerplaats "Schouwenbank", maar evenzeer voor de vrije ankerzones ten noorden van het zoekgebied "Schouwen" en de drukke scheepvaartroute naar Rotterdam.

Relevante effecten

Algemeen kan dus gesteld worden dat met betrekking tot de SRK VHF radiostations van Westkapelle als het duplex co-channel kanaal 25 van Haamstede/Ouddorp, er zich telkens radioblinde zones zullen voordoen achter een windpark in het zoekgebied "Schouwen".

Dit geldt evenzeer voor de AIS stations van Westkapelle en Ouddorp, en voor het SRK RDF peilstation in Haamstede en het "stand alone" RDF station in Ouddorp, waarbij niet alleen de waarnemingen binnen het werkingsgebied van SRK, maar ook deze op de drukke verderop gelegen route naar Rotterdam, verstoord zullen worden.
Specifiek voor de RDF stations betekent dit het wegvallen van één of meerdere peilrichtingen, zodat de exacte plaatsbepaling van schepen via dit systeem niet meer mogelijk wordt.

Voor scheepvaartverkeer rondom de offshore windparken is de nodige aandacht vereist in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek, waarbij de radio communicatie DOORHEEN de windparken tussen schip en schip verstoord tot quasi onmogelijk zal zijn.

Niet-relevante effecten

Er kan een zeker kwaliteitsverlies van de VHF radiocommunicatie optreden door multipath propagatie, maar waarbij de radiocommunicatie nog steeds mogelijk blijft.
Er wordt ook geen verlies van data binnen het AIS systeem ten gevolge van de delay spread (multipath propagatie) verwacht, althans binnen die zones waar het AIS systeem op zich niet verstoord wordt (zie boven: relevante effecten).

VOORSTEL TOT MITIGERENDE MAATREGELEN

A priori dienen hierbij de volgende aandachtspunten in acht genomen:

- bijkomende installaties (radar, VHF radio, AIS, RDF) dienen volledig compatibel te zijn met de huidige SRK installaties

- er dient aandacht besteed te worden aan de nodige stroom/energie voorziening van bijkomende installaties

- er dient aandacht besteed te worden aan de informatieoverdracht en communicatie met de installaties en controlecentra aan wal (draadloos of kabel?)

- bij de eventuele realisatie van een windpark in het zoekgebied “Schouwen”, dient expliciet rekening gehouden met een veiligheidsafstand van circa 2 nautische mijl tot de ankerplaatsen

- een bijkomende installatie heeft enkel zin op de noordelijke rand of het noordwestelijke punt van het zoekgebied “Schouwen”, eventueel rekening houdend met een aangepaste afbakening van de zone, rekening houdend met de veiligheidsaspecten zoals hoger vermeld

Onder deze condities zou het volgende nodig zijn, maar ook volstaan:

- een ondersteunend radarstation, op de noordelijke rand van het zoekgebied Schouwen. De keuze van een correcte locatie dient het voorwerp uit te maken van een gedetailleerde locatiestudie, en rekening te houden met de definitieve afbakening van het zoekgebied “Schouwen”. Daardoor zouden alle zones rond en achterliggend aan het zoekgebied opnieuw een dubbele radardekking verkrijgen.

- een VHF radiostation op dezelfde locatie, zodat het gehele gebied voor de communicatie tussen schip en wal behouden blijft. Een alternatief is een volledig VHF station op de site van Ouddorp, wat het voordeel biedt van een onshore installatie te zijn.

- een RDF station op dezelfde locatie, zodat het gehele gebied gelegen achter het zoekgebied Schouwen opnieuw volledig kan gepeild worden.

Daarbij kunnen de volgende opties meegenomen worden, alhoewel deze operationeel niet meteen nodig zijn:

- eventueel als optie, een bijkomend AIS station op dezelfde locatie, zodat de opvolging van dieper in zee kan gebeuren. Een voorbeeld hiervan is het bijkomende AIS station op de zone van het offshore windpark Belwind, op het BCP.

- eventueel een bijkomend relaisstation in de vorm van een transceiver, zodat VHF communicatie tussen schepen onderling over en doorheen het zoekgebied Schouwen mogelijk wordt of behouden blijft

Prof.dr.ir.J.Catrysse
Brugge, 9 december 2013

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, Cassdian 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 fonctionement 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.

A1.1. 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 systemi, 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

A1.2. 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 or marine radar, Communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency, M. Howard & C. Brown, QinetiQ/03/00297/1.1 and MCA MNA 53/10/366, November 2004

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 see, 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 fonctionement 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

2.16. East Anglia ONE, Offshore Windfarm, Environmental Statement, Volume 2, Chapter 16 Telecommunications and Interference Appendices, Vattenfall, November 2012

A1.3. Offshore windparken en invloed op de radar (luchtvaart)

3.1. Wind turbines and radar: operational expericence 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 BMSM, 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

3.31. Detection and Tracking of Aircraft over wind farms using SCANTER 4002, K.Hansen, A. Thomsen et al., Terma.com

3.32. Mitigation Techniques to reduce the impact of wind turbines on radar services, David de La Vega, J. Matthews et al., Energies 2013,6, pp. 2859-2873

3.33. New algorithms for estimating the impact of wind turbines on telecommunication services, I. Cascon, J. Canizo et al., Proc. ICREPQ'13, Bilbao, March 2013

Appendix 2:Shadowing – radar: detailanalyse

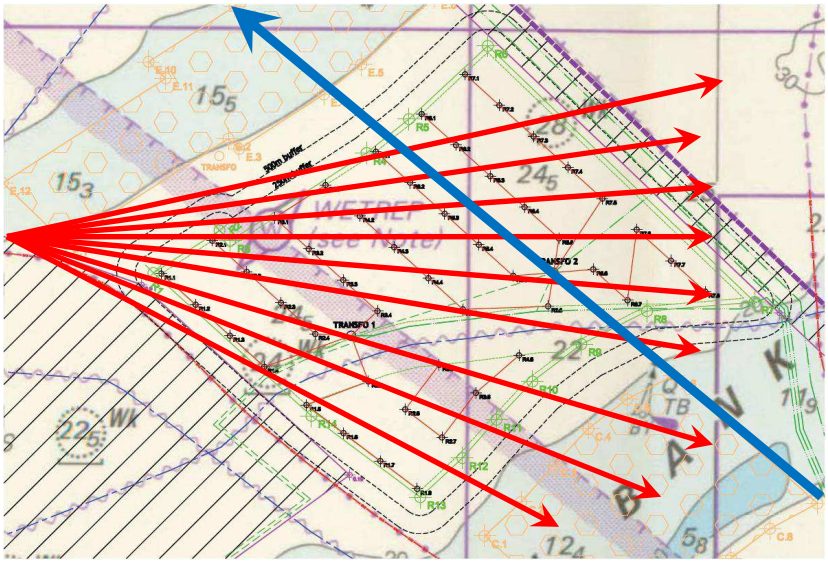
Indien de verschillende windturbines in een windpark elk afzonderlijk voldoende vrij staan, en daarenboven ook voldoende opgelijnd, zodat een relatief vrij radiopad doorheen het windpark aanwezig is, dan zal zich telkens in lijn achter een windturbine een sterke schaduwzone voordoen, die in de meeste gevallen zelfs “radar/radio blind” zal zijn.

Bij een open clustering van windturbines in een windpark zal dit verschijnsel zich voordoen per windturbine, waarbij de betreffende zones zich dan aan elkaar clusteren, zodat er zich achter het windpark een nagenoeg volledig aan elkaar gesloten zone zal vormen, waar geen radarwaarneming of radiocommunicatie mogelijk is.

Bij een gesloten clustering is er geen radiopad meer beschikbaar ‘rond’ de windturbines, en moet niet de breedte van de mast, maar wel de hoogte in aanmerking genomen worden.

Enkel voor de nieuwe radarinstallatie van SRK Noord (Neeltje Jans) zal dit effect eerder minimaal zijn, gezien de hoogte van de radarantenne vergelijkbaar is met de masthoogte van een typische windturbine. Zie ook figuur A3.1.
Toch dient hierbij de invloed van de rotor nog in aanmerking genomen te worden (tiphoogte). Door de rotatie van de wieken zal de ogenblikkelijke tiphoogte variabel zijn, zodat zich in de praktijk een onstabiele (en bijgevolg onbetrouwbare) beeldvorming zal voordoen.

De volgende situaties worden in de volgende figuur A2.1. geschetst:
- opgelijnd met tussendoor voldoende doorgang: blauwe pijlen
- ‘open clustering’, maar toch niet volledig aan elkaar gesloten: rode pijlen



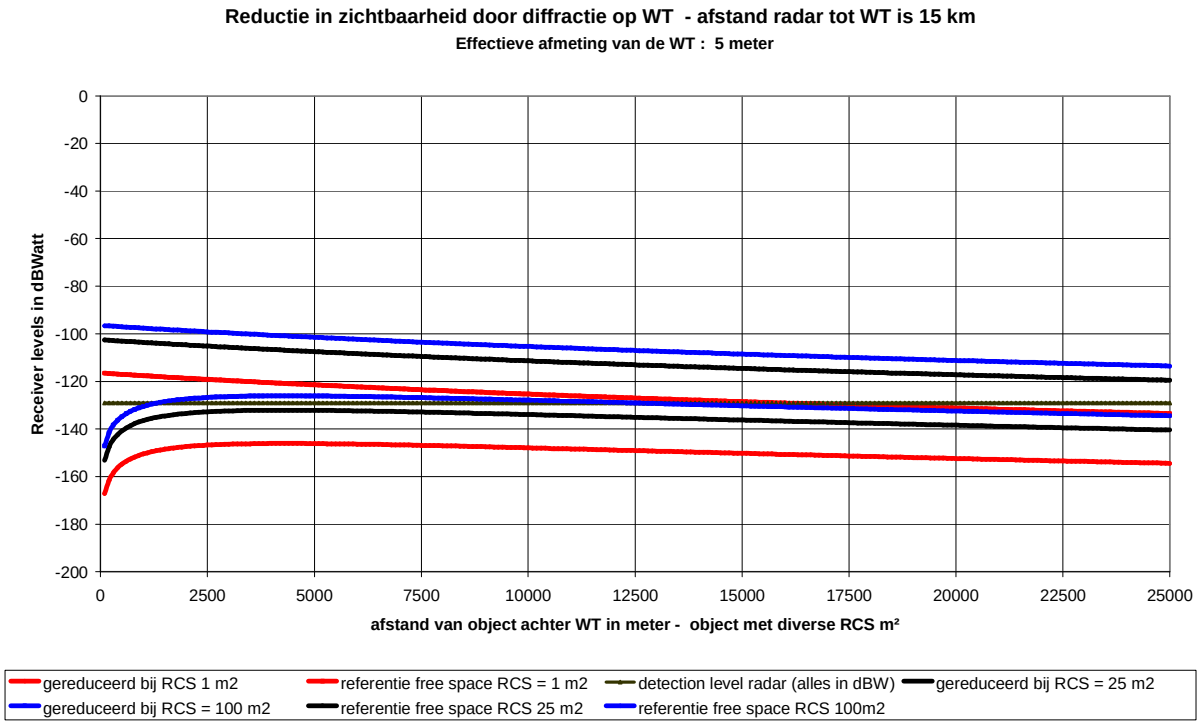
Figuur A2.1. Voorbeelden van een “open clustering” bij meerdere opgelijnde/niet-opgelijnde windturbines

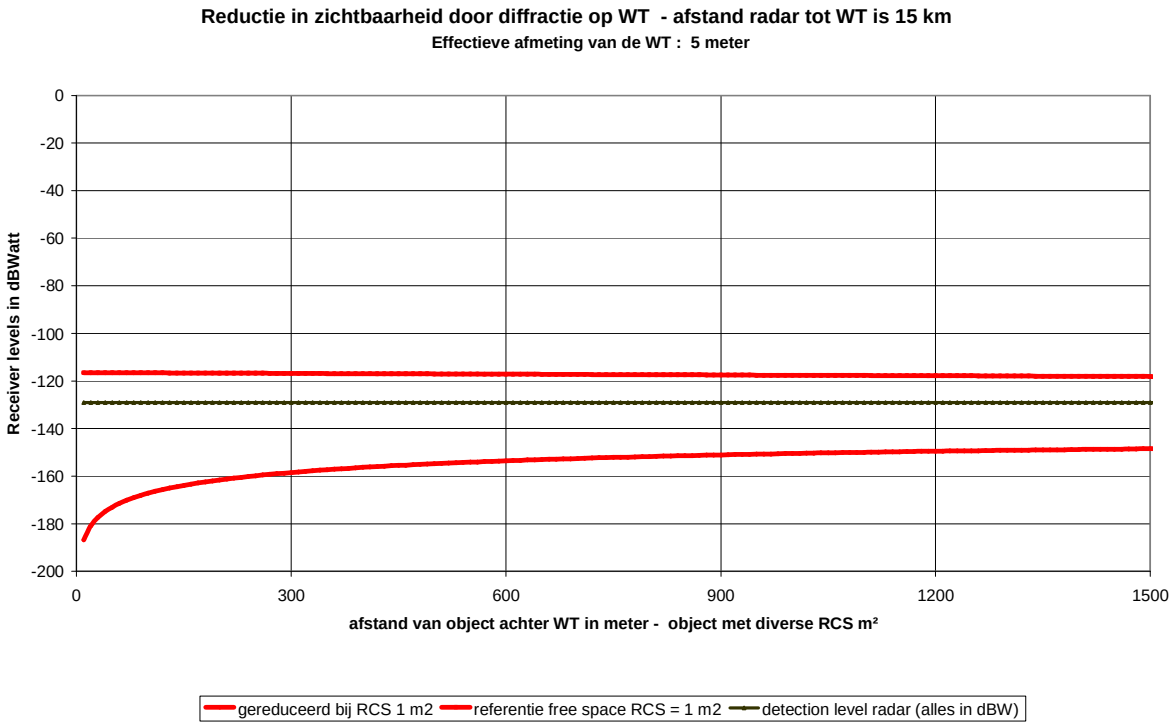
In de volgende reeks van grafieken en figuren worden de volgende situaties weergegeven:
- afstand van radar tot de windturbine is 15 km, als model voor Haamstede en Neeltje Jans
- afstand van radar tot de windturbine is 25 km, als model voor Westkapelle en Ouddorp
- afstand van radar tot de windturbine is 40 km, als model voor alle verder afgelegen radars
en waarbij enkel met de breedte van de mast wordt rekening gehouden bij een vorm van alleenstaande windturbines, die ten hoogste een “open clustering” vormen, telkens voor verschillende RCS waarden van een schip of object.

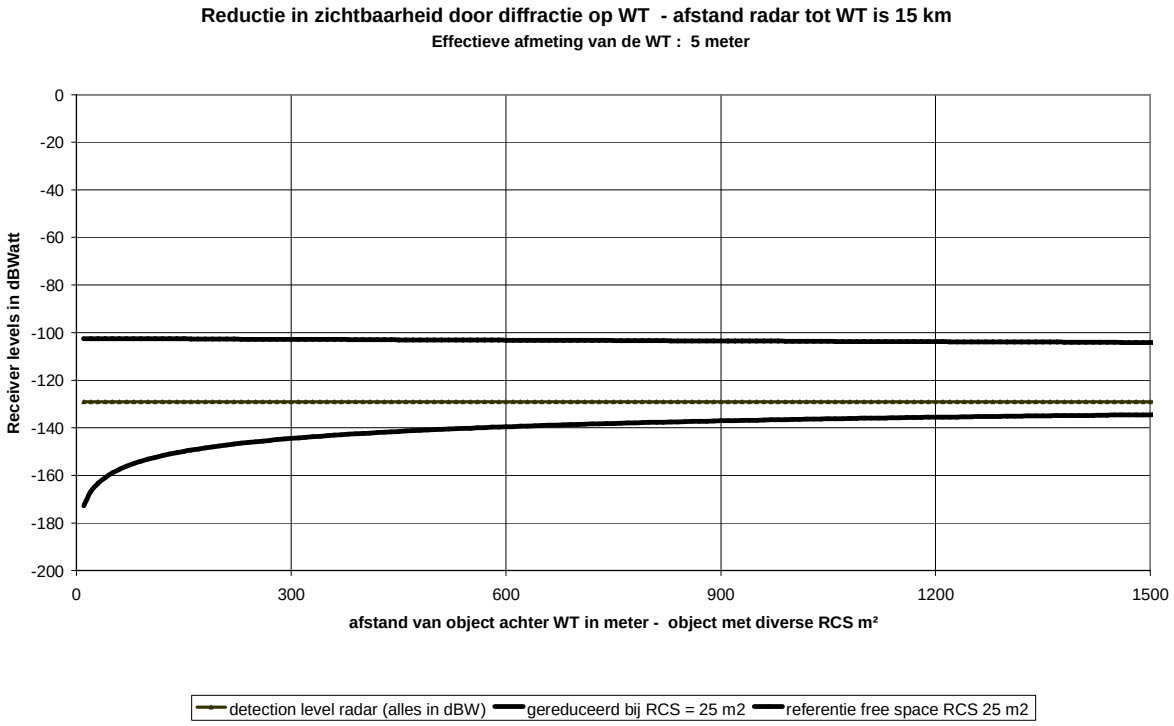
Een tweede analyse is voor het geval waarbij zich een volledige gesloten clustering zou voordoen, en dus de hoogte van de turbinemast (hoogteverschil tussen radarantenne en turbinemast) moet in aanmerking genomen worden.

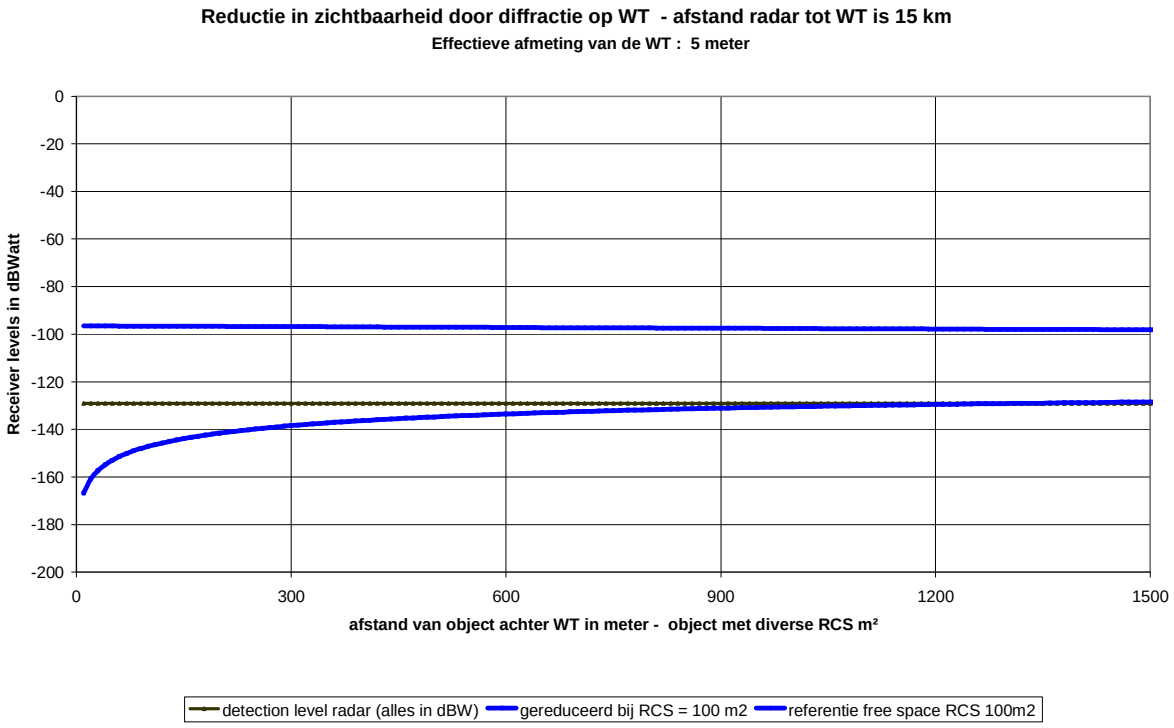
Tenslotte wordt nog de grafiek gegeven voor de nieuwe radar SRK Noord (Neeltje Jans), waarbij voor een gesloten clustering, enkel de masthoogte van de windturbine wordt in aanmerking genomen.

A2.1. Afstand tussen radar en windturbine is 15 km – open clustering

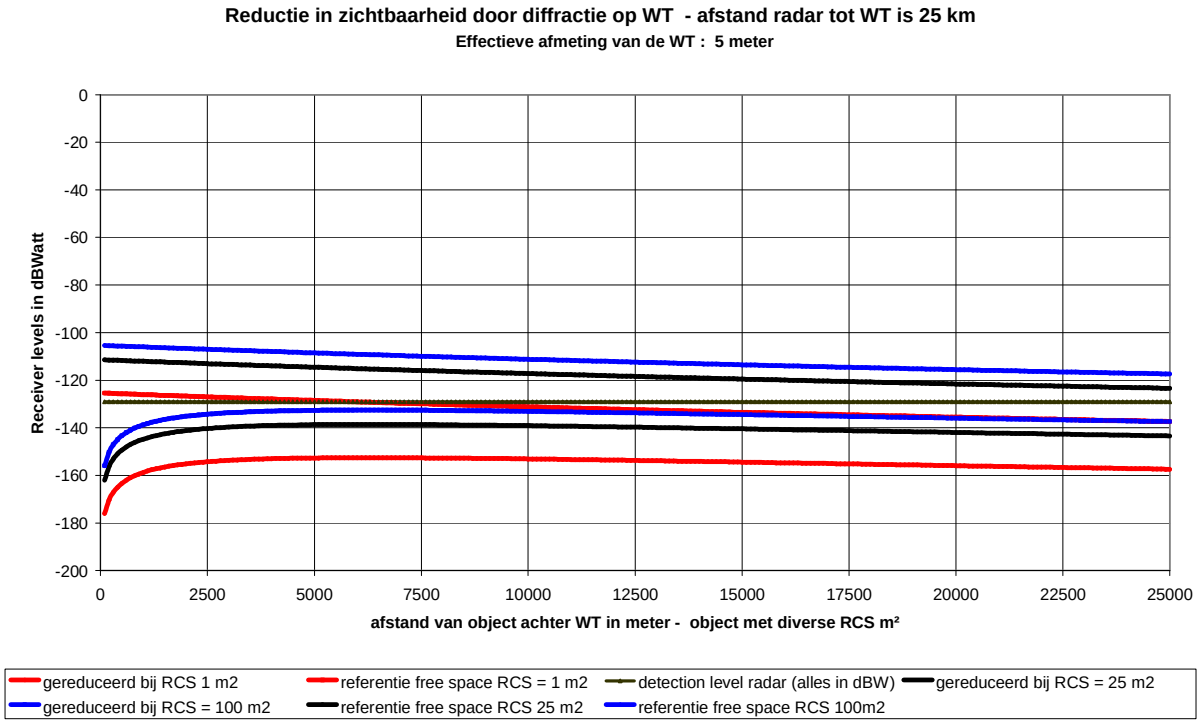


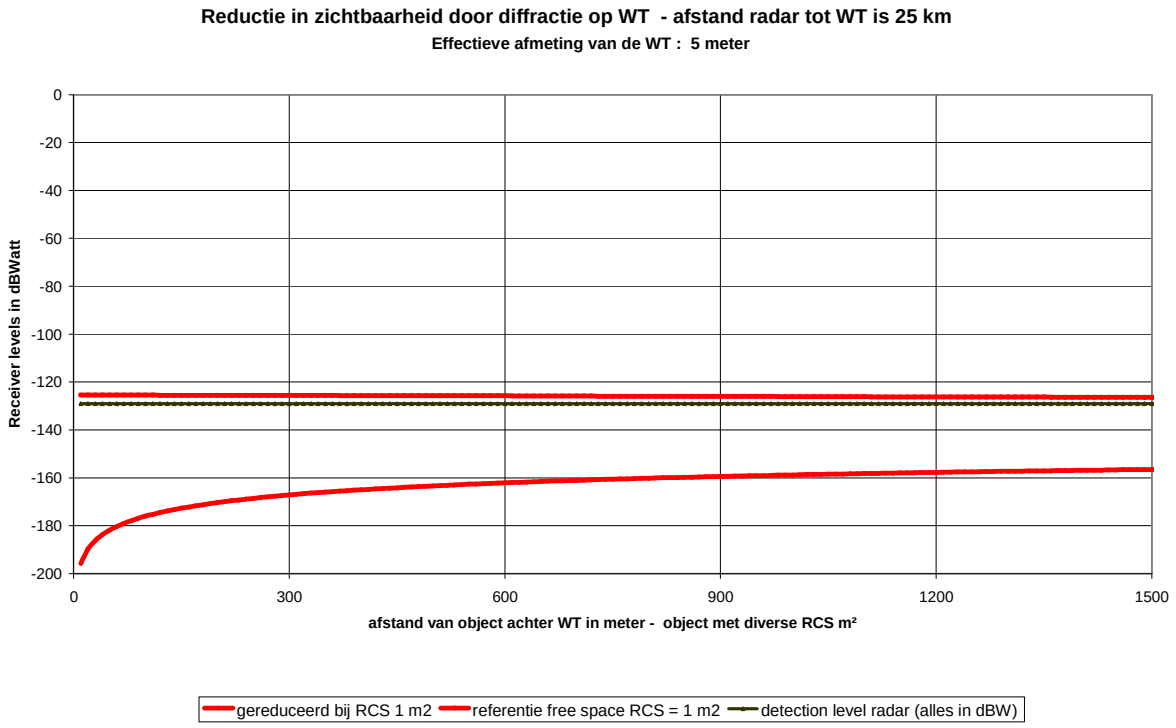



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 15 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 25 m2
referentie free space RCS 25 m2

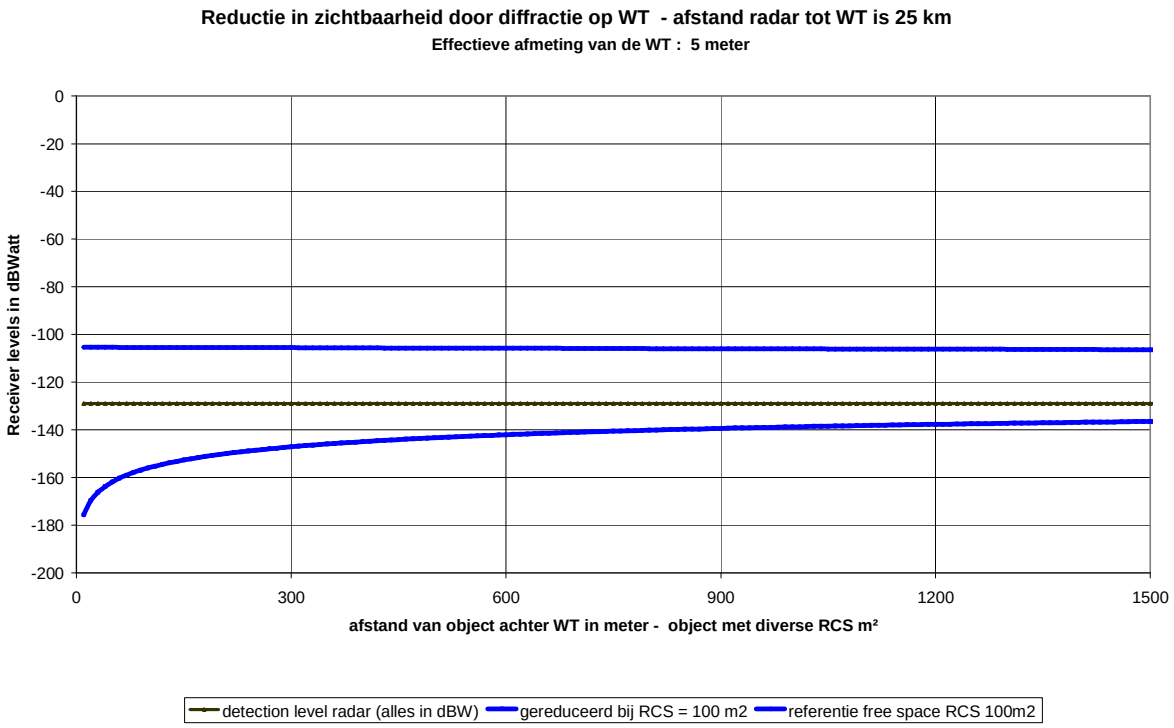

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 15 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 100 m2
referentie free space RCS 100m2

A2.2. Afstand tussen radar en windturbine is 25 km – open clustering

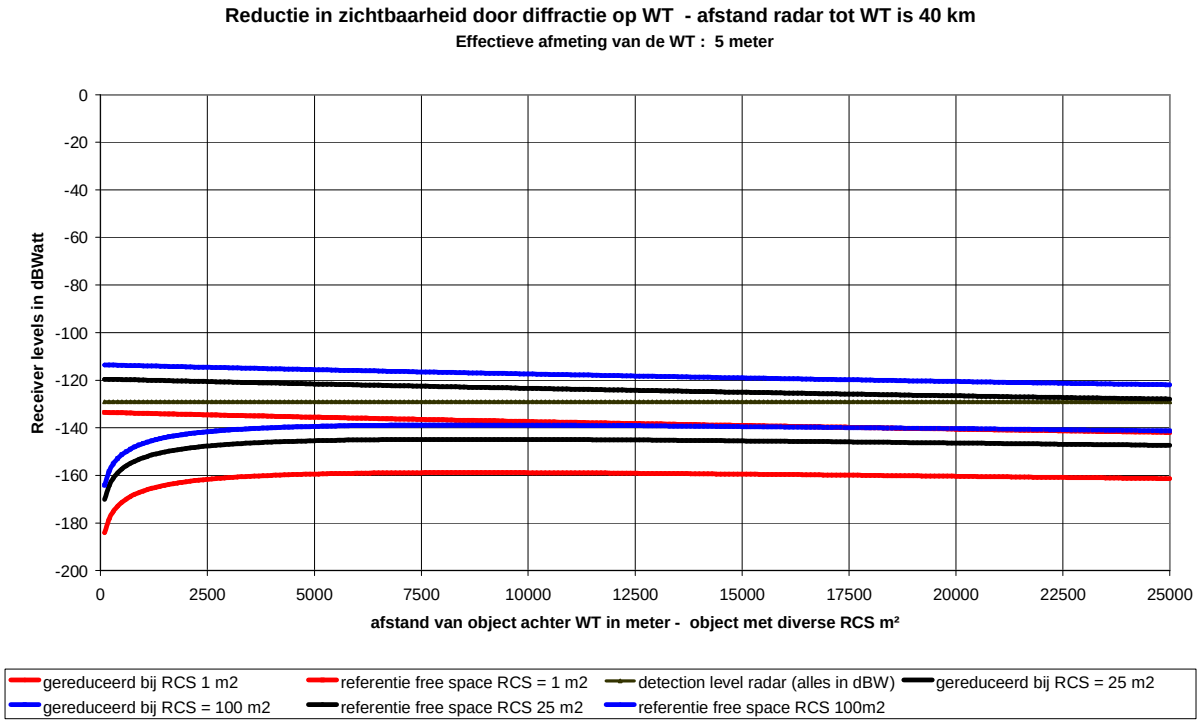


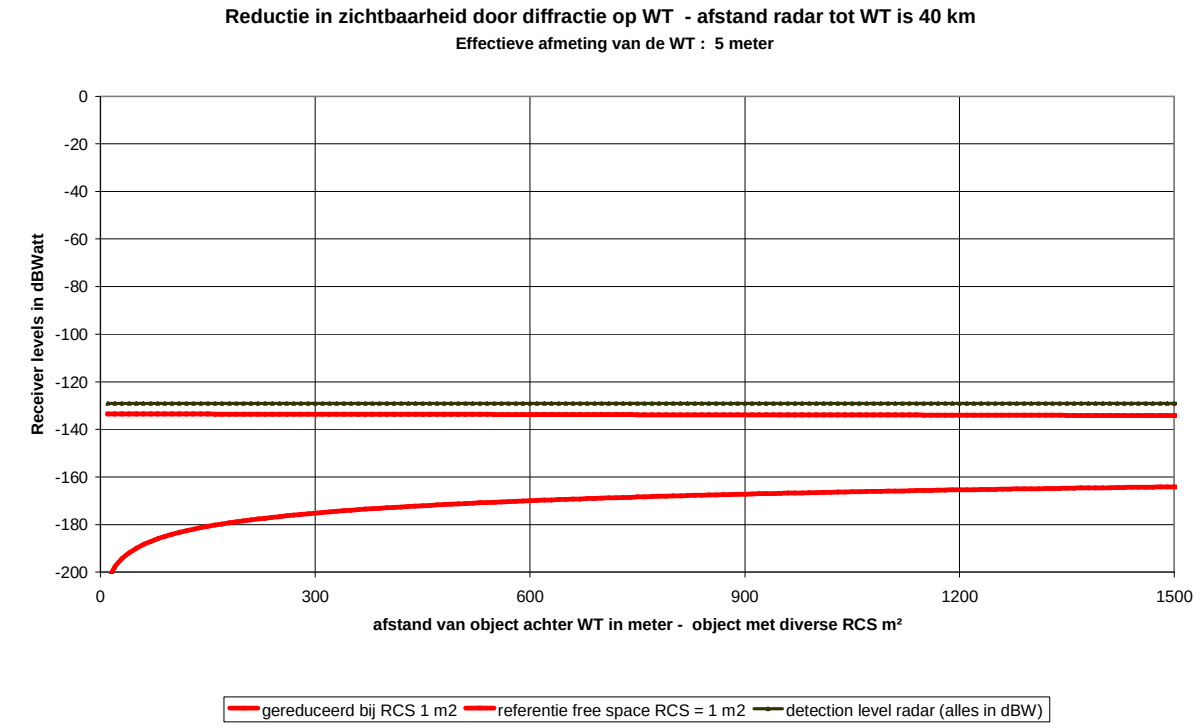


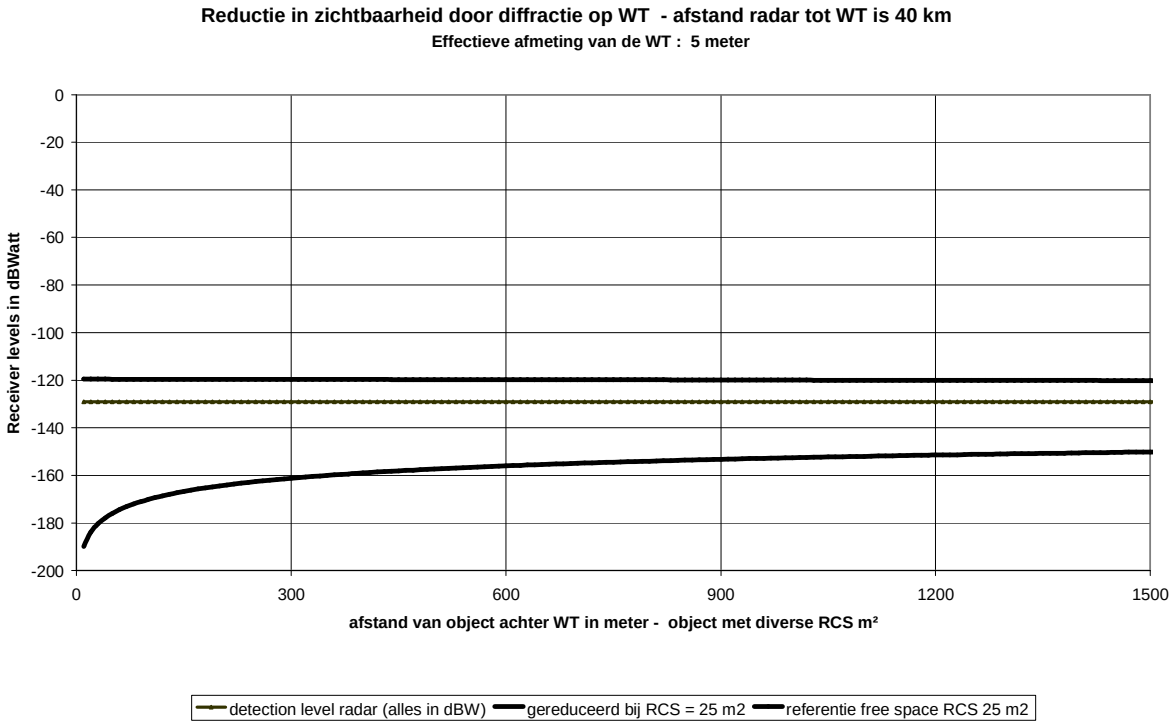
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 25 m2
referentie free space RCS 25 m2

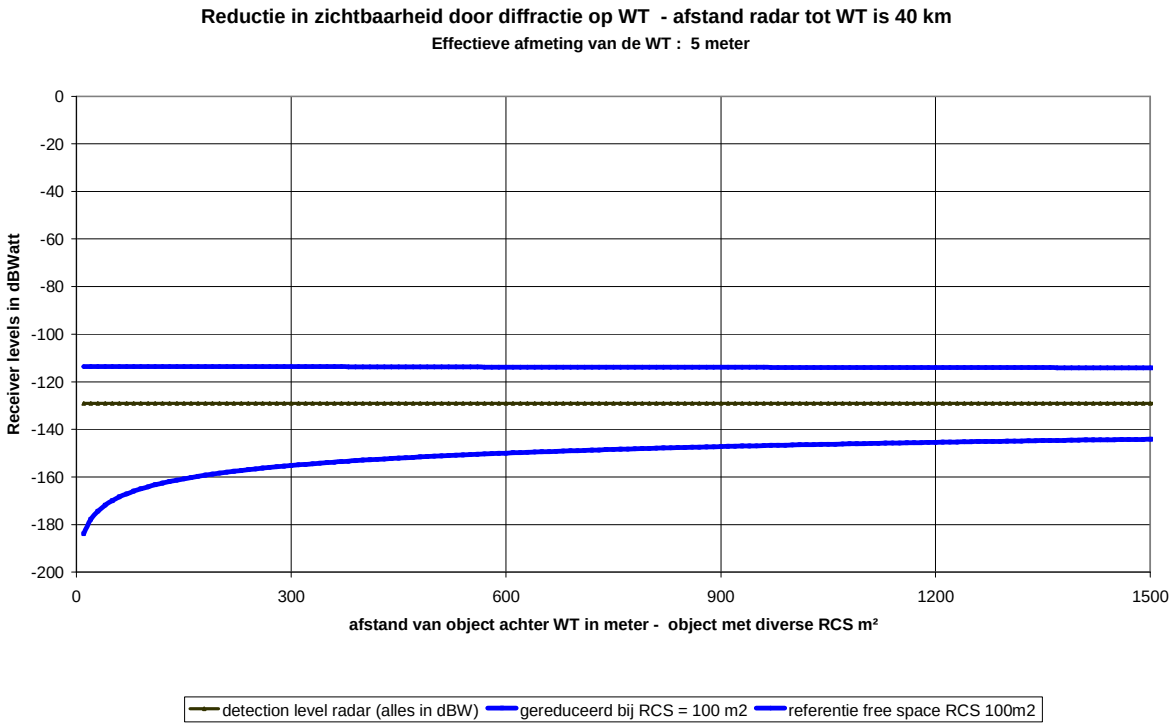

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 100 m2
referentie free space RCS 100m2

A2.3. Afstand tussen radar en windturbine is 40 km – open clustering

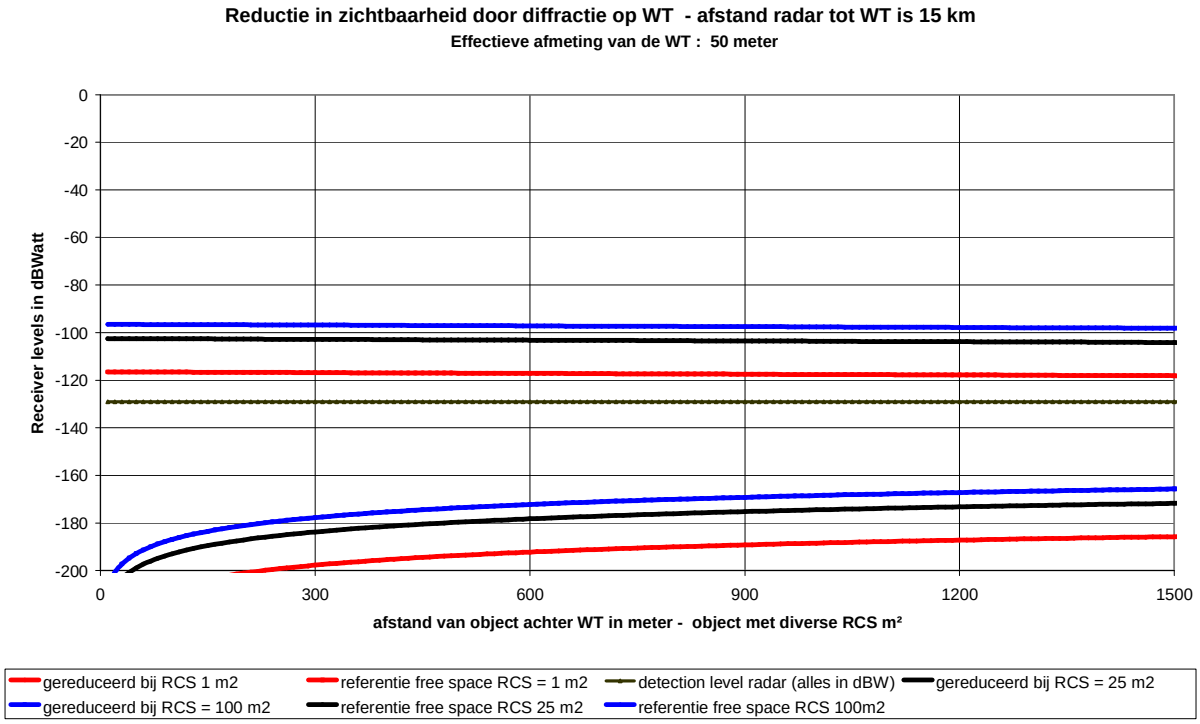


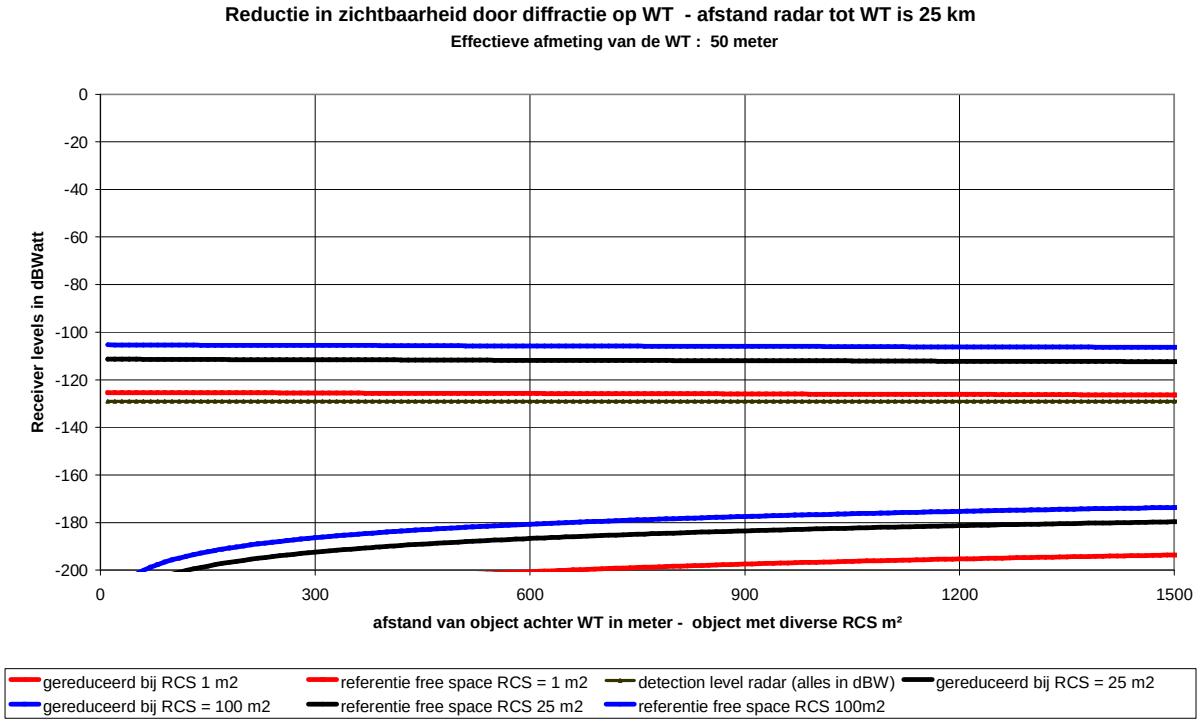



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 40 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 25 m2
referentie free space RCS 25 m2

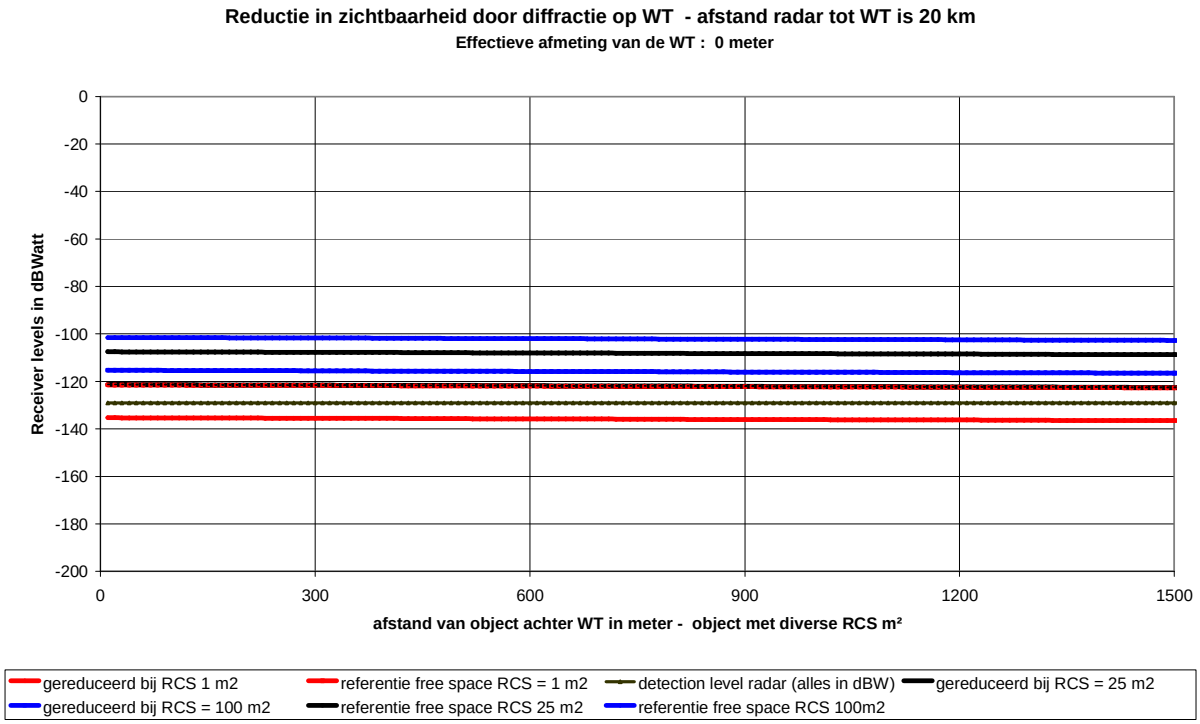

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 40 km
Effectieve afmeting van de WT : 5 meter
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
300
600
900
1200
1500
afstand van object achter WT in meter - object met diverse RCS m²
detection level radar (alles in dBW)
gereduceerd bij RCS = 100 m2
referentie free space RCS 100m2

A2.4. Shadowing bij gesloten clustering – masthoogte turbine is 100 m



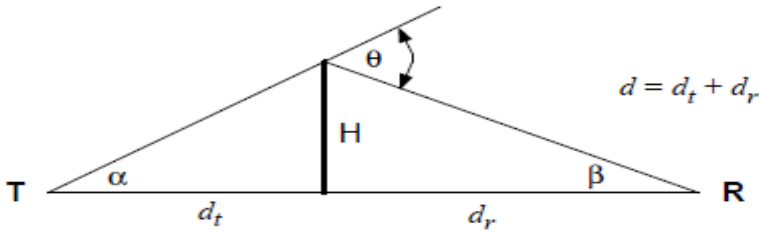


A2.5. Shadowing voor SRK Noord (Neeltje Jans) bij gesloten clustering – enkel masthoogte windturbine in aanmerking genomen



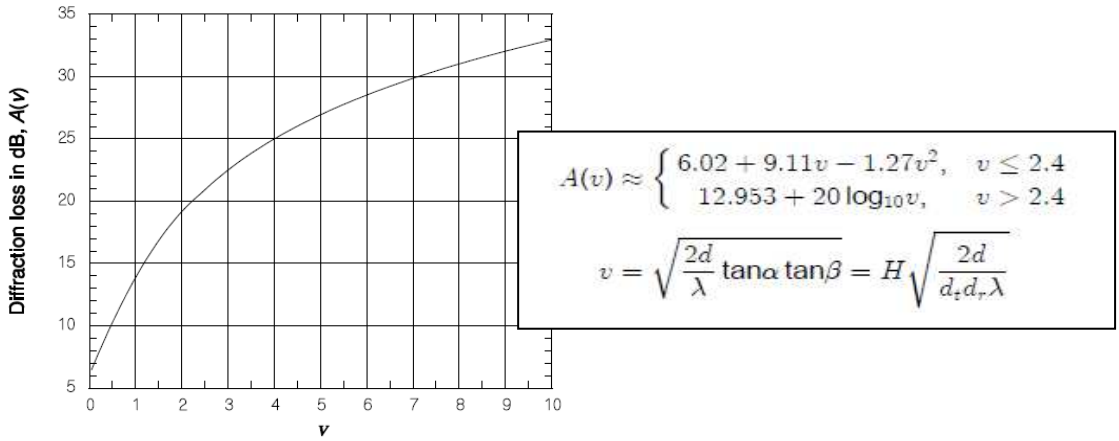
Appendix 3:Fresnel edge modellen

Voor de attenuatie van een radio/radarsignaal, te wijten aan het object als obstakel wordt een Fresnel edge model gebruikt. Voor een eenvoudige vorm (paal, windturbine, hoogspanningsmast, enz. …) kan een eenvoudig “Fresnel knife edge” model gebruikt worden, zoals in figuur A3.1. aangegeven.



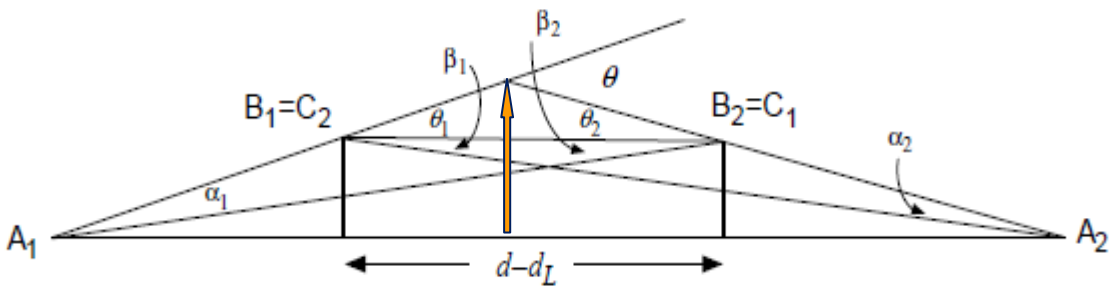
Figuur A3.1.. Fresnel knife edge model

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



Figuur A3.2.. Attenuatie bij Fresnel knife edge modellen

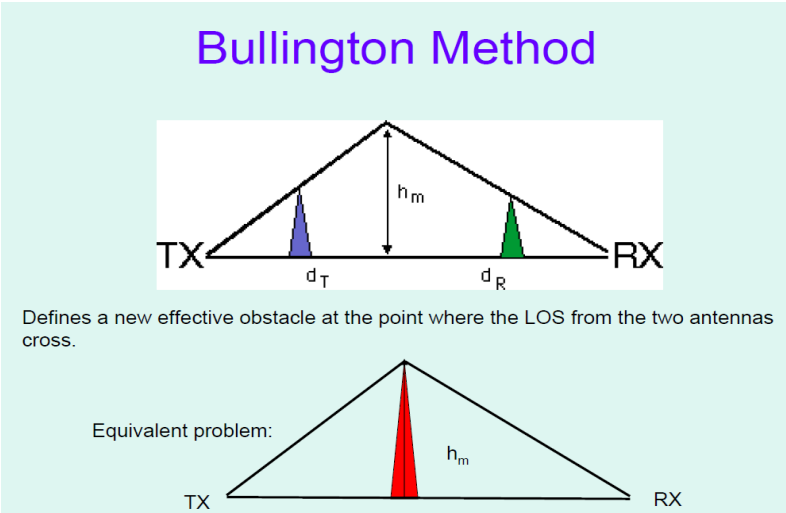
Bij meerdere obstakels of een groter object (zoals een gebouw) kan de Bullington benadering gebruikt worden, waarbij een virtueel object wordt gecreëerd, uitgaande van de raaklijnen tussen zender, object en ontvanger. Dit wordt in figuur A2.3. geschetst.

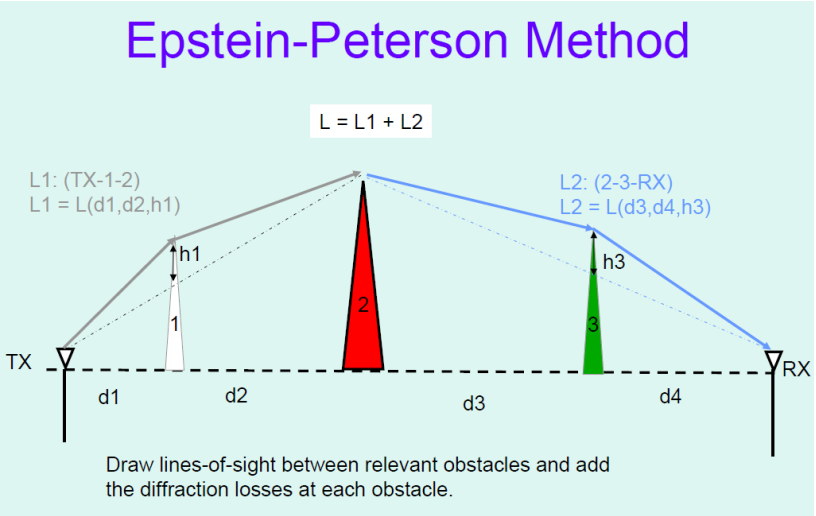


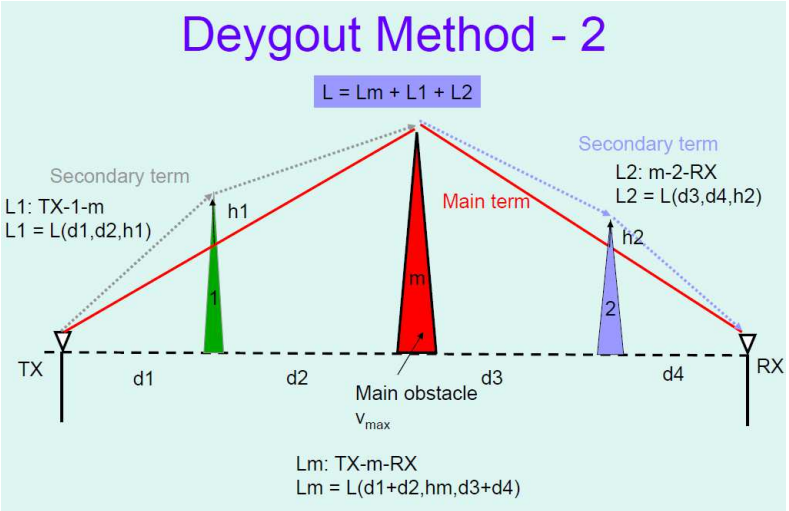
Figuur A3.3.. Bullington benadering voor diffractie bij grote objecten

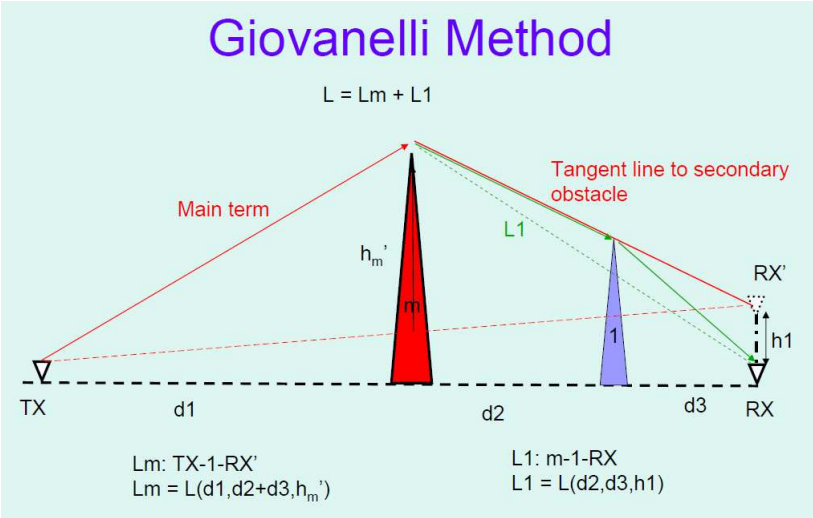
Omdat windturbines wel een clustering in het horizontale vlak kunnen vormen, doch nog steeds een aantal losstaande objecten vormen, werd voor deze studie het eenvoudige “Frensel knife edge” gebruikt.

Fresnel modellen bij multi-objecten

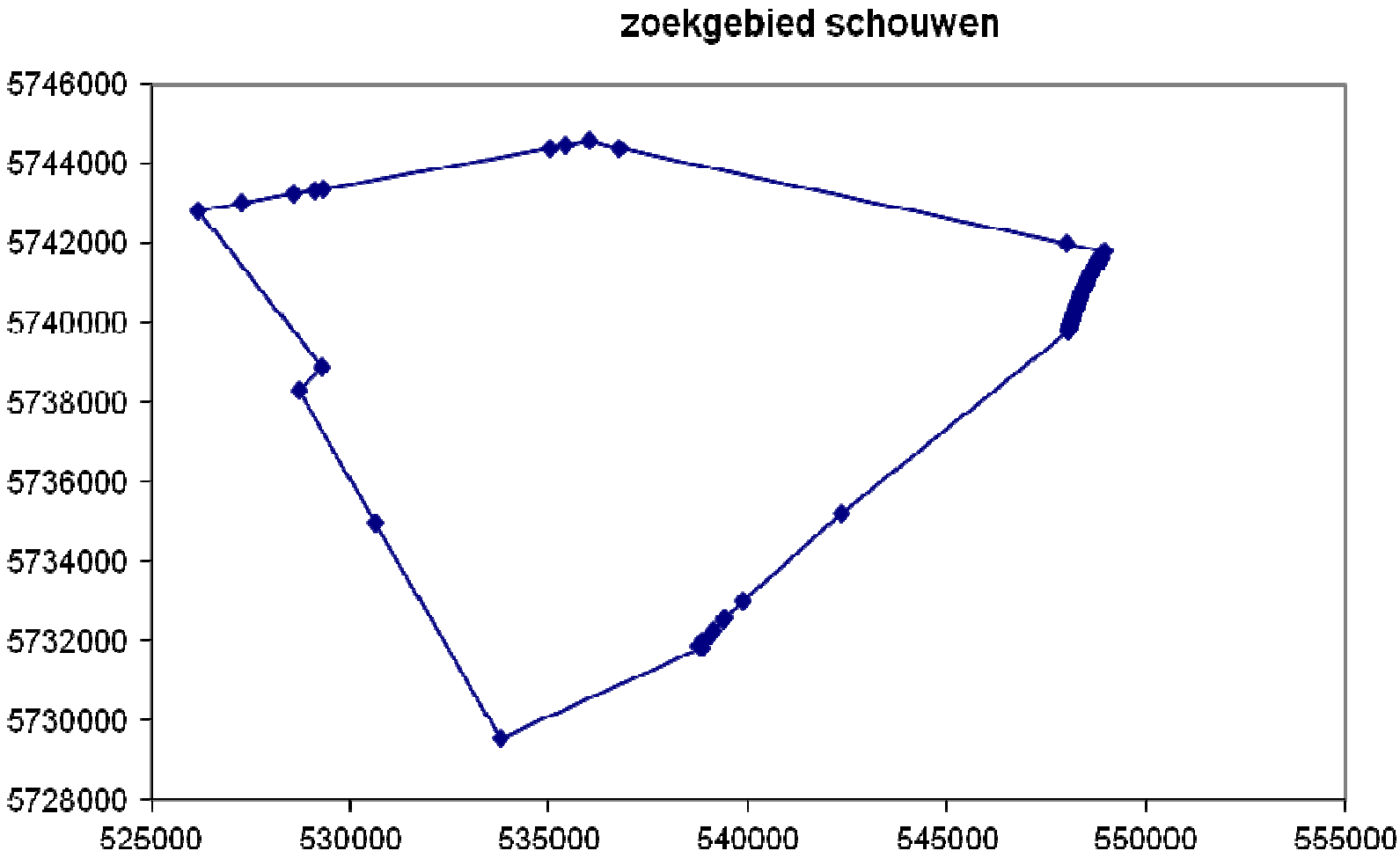








Appendix 4: Coördinaten van het zoekgebied Schouwen



Appendix 5: Radar screenshots

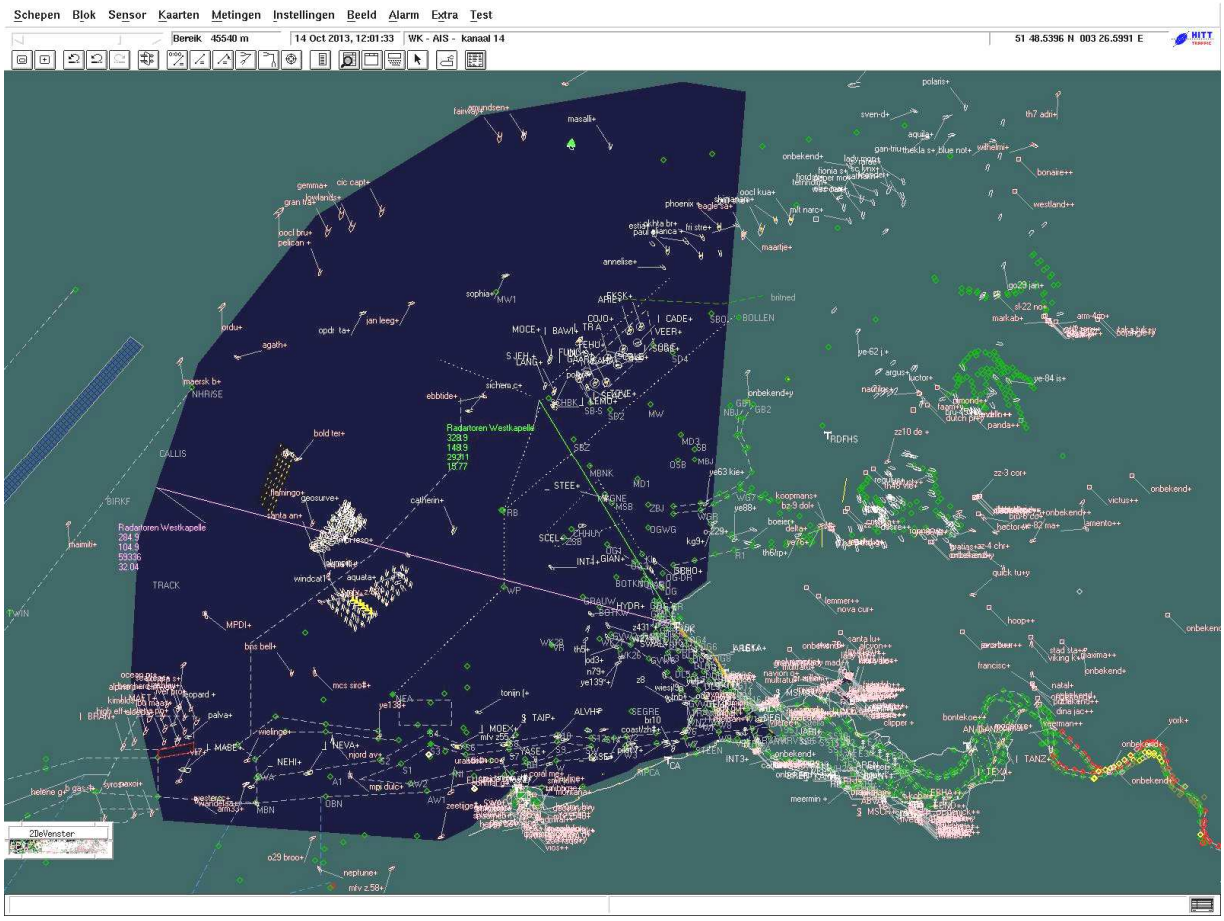
In deze appendix worden de radar screenshots gegeven van de drie radarstations die actief zijn voor het zoekgebied Schouwen: Westkapelle, Haamstede en Ouddorp.

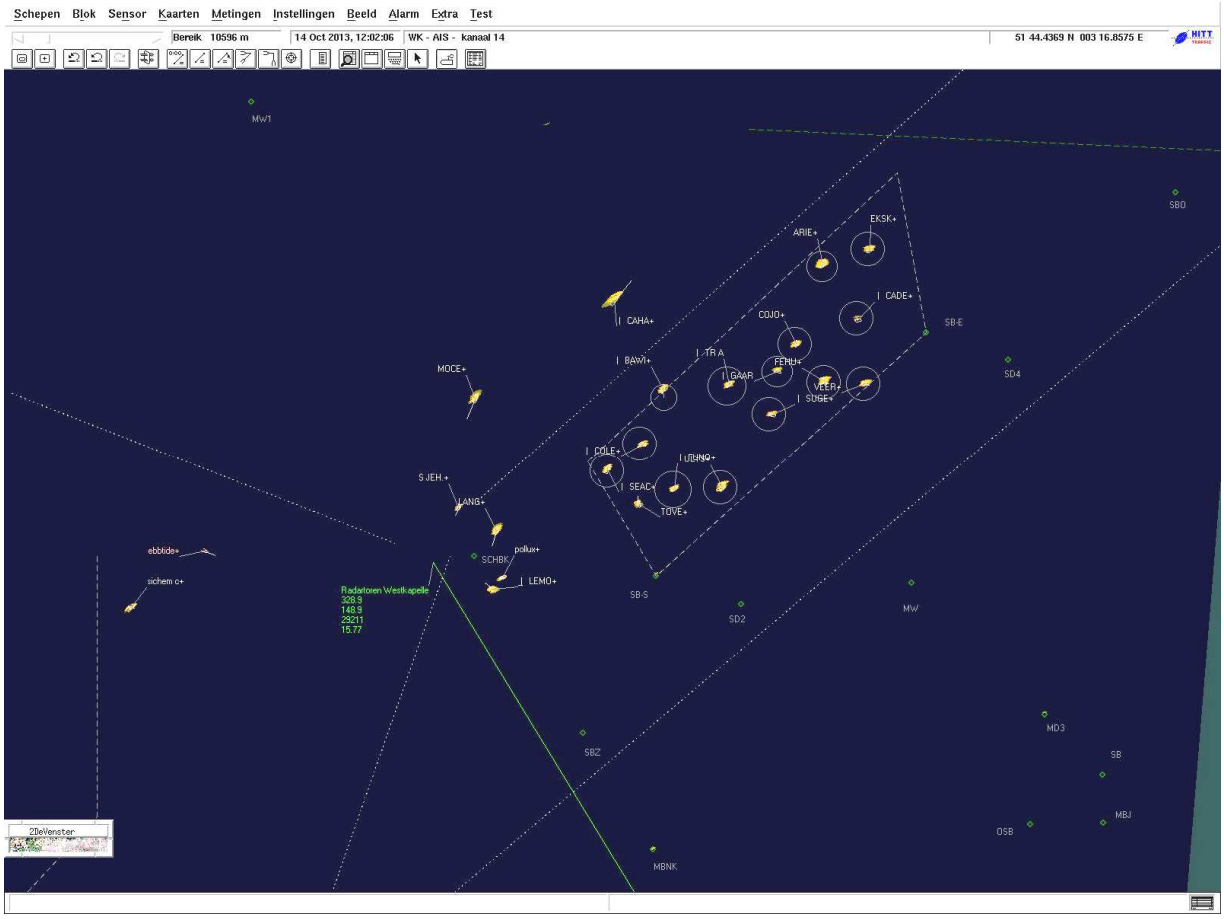
De screenshots dateren van half oktober 2013, en werden genomen bij regenachtige weersomstandigheden, waardoor het bereik van de SRK X-band radars niet optimaal en dus eerder beperkt was.

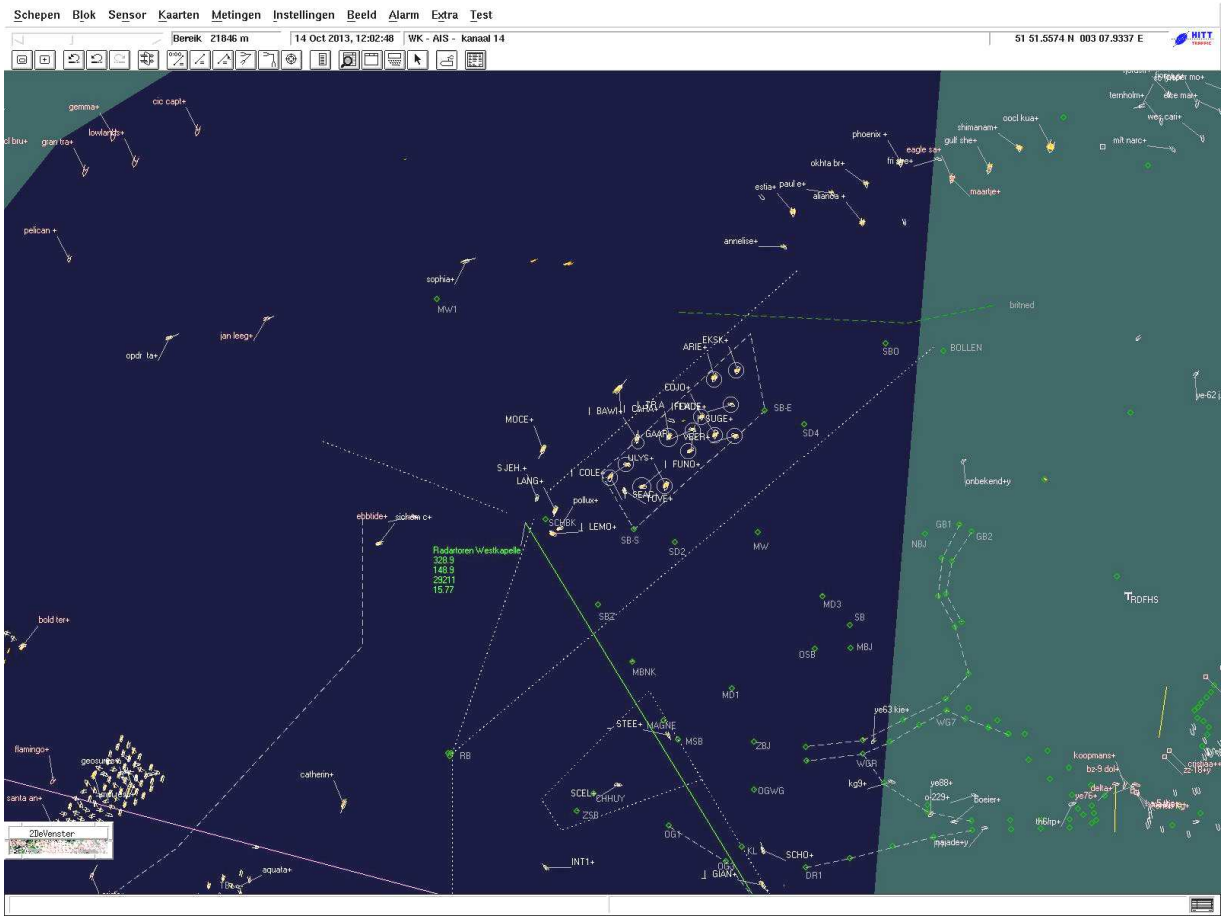
Naast een algemeen beeld, wordt ook telkens de Schouwenbank in detail in beeld getoond.

Voor Westkapelle komt daar nog een extra detailbeeld bij, dat duidelijk de zichtbaarheid toont tot aan de windparken in aanbouw in het Belgische concessiegebied op het BCP (C-Power).

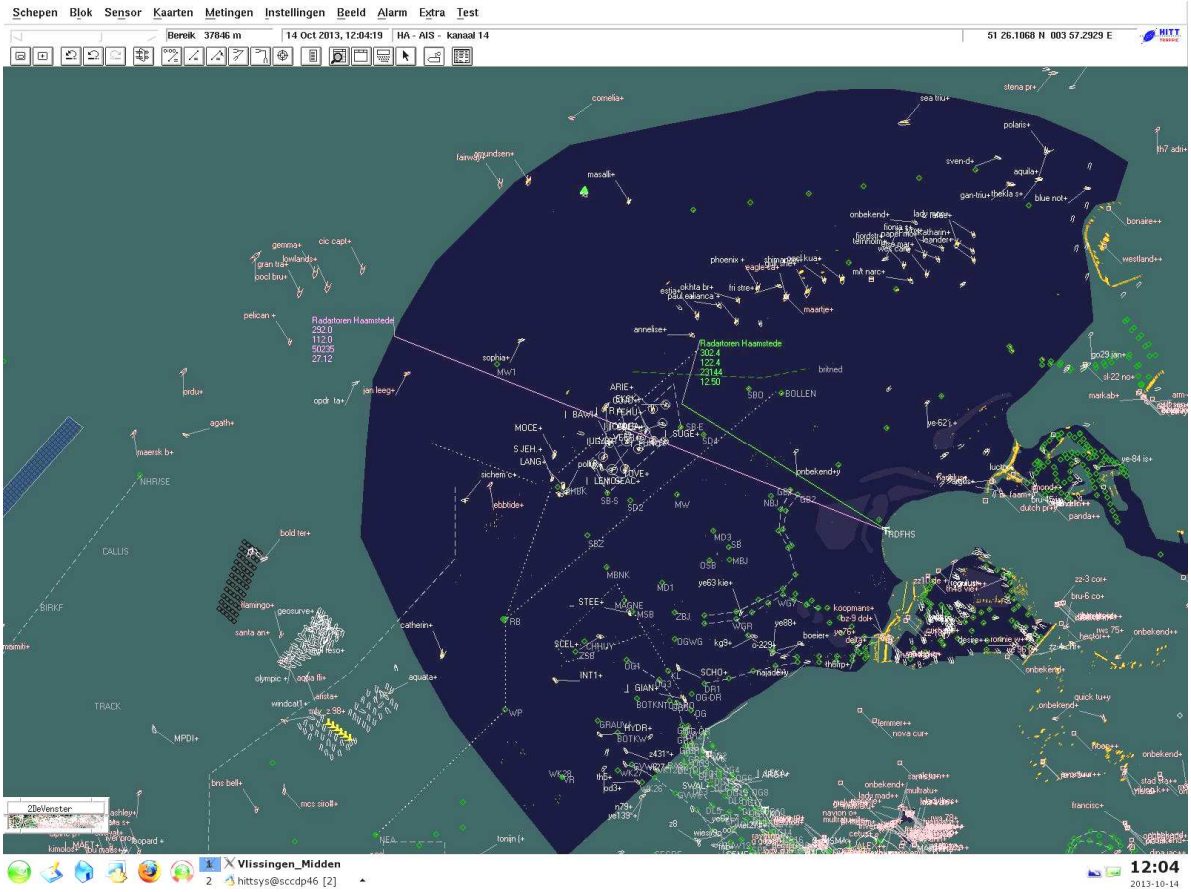
Westkapelle

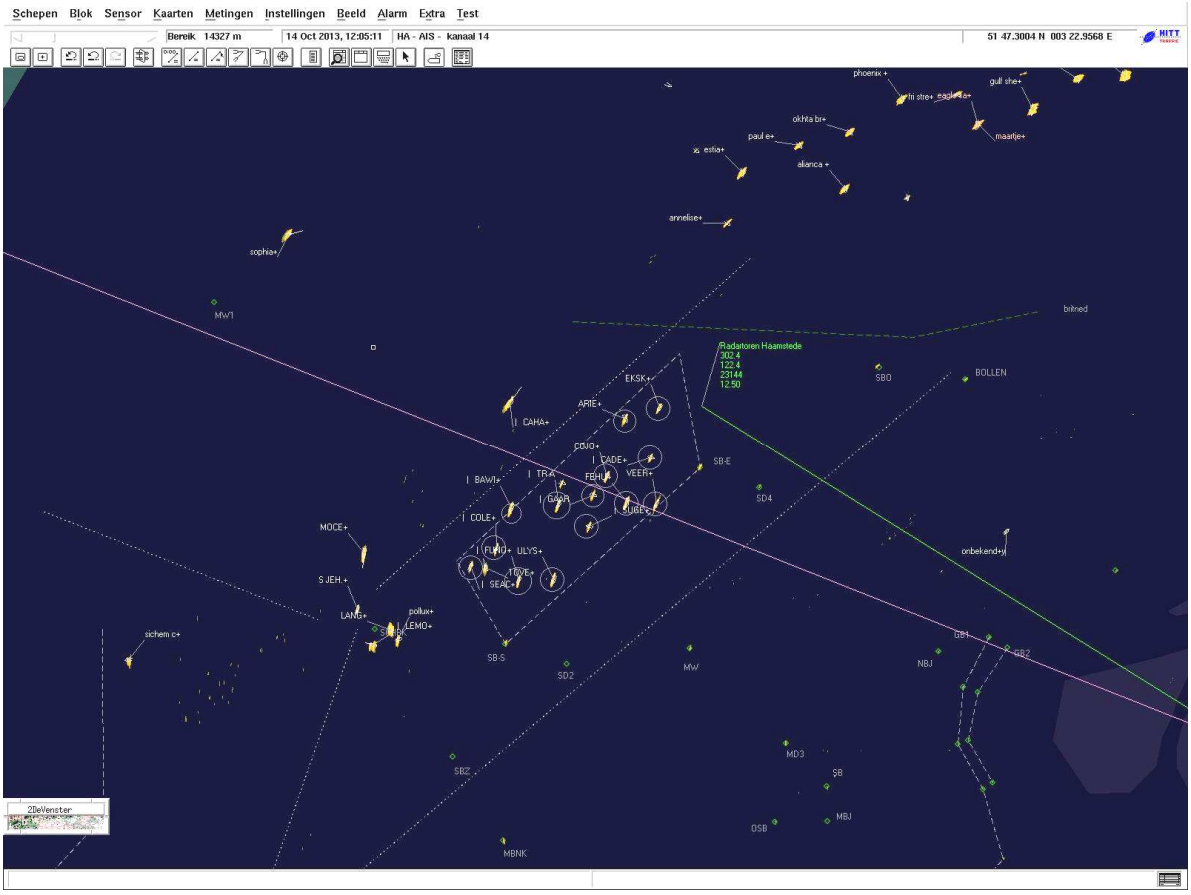



Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 10596 m
14 Oct 2013, 12:02:06
WK - AIS - kanaal 14
51 44.4369 N 003 16.8575 E
MW1
SBO
ARIE+
EKSK+
CADE+
CAHA+
COJO+
SB-E
BAWI+
TRA
FEHU+
GAAR
VEER+
SUGE+
SD4
MOCE+
COLE+
ULHNQ+
SEAC+
TOVE+
S.JEH.+
LANG+
SCHBK
pollux+
LEMO+
ebbide+
sichem c+
Radartoren Westkapelle
328.9
148.9
29211
15.77
SB-S
SD2
MW
MD3
SB
SB2
MBJ
OSB
MBNK
2DeVenster

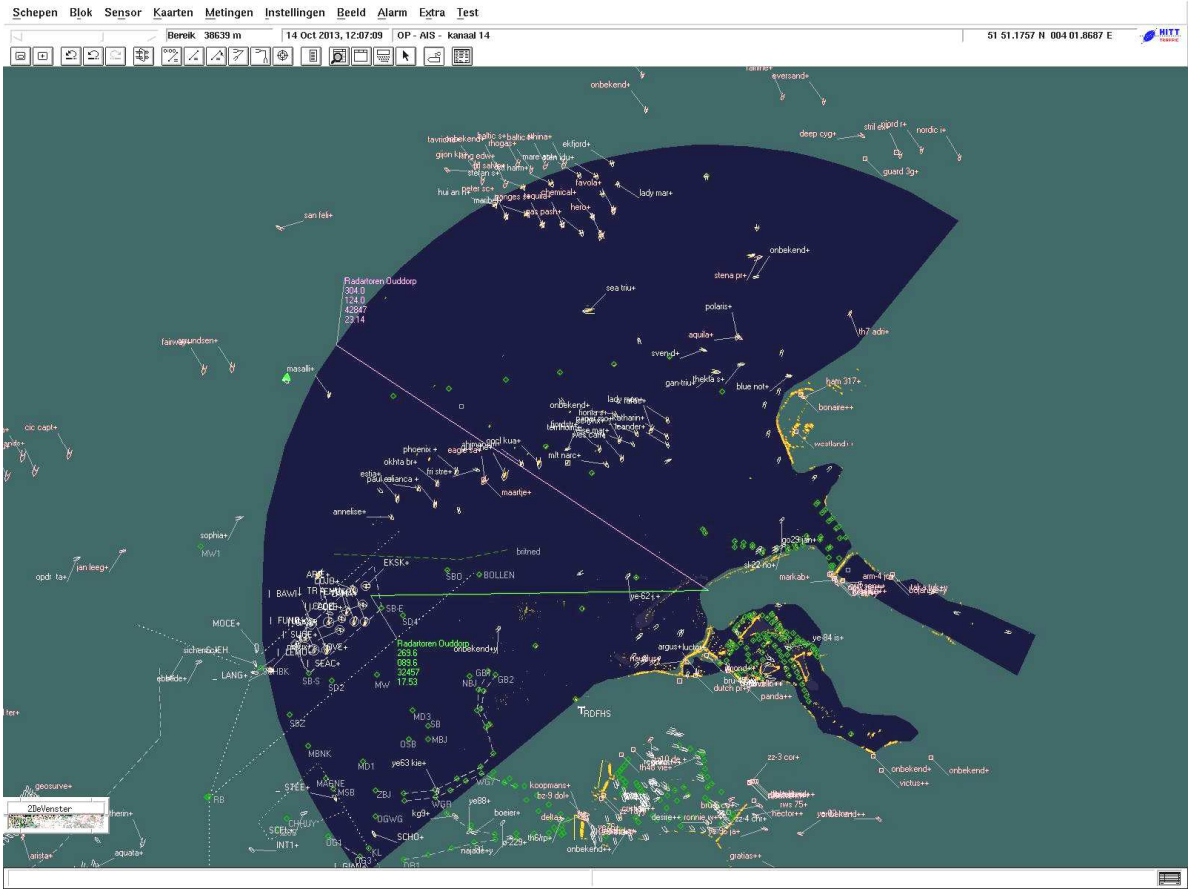

Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 21846 m
14 Oct 2013, 12:02:48
WK - AIS - kanaal 14
51 51.5574 N 003 07.9337 E
gemma+
cic capt+
pelican +
sophia+
MW1
jan leeg+
opdr ta+
ARIE+
EKSK+
SBO
BOLLEN
britned
EDJO+
BAWI+
CAHA+
FEHU+
SUGE+
SB-E
SD4
MOCE+
GAAR
VEER+
ULYS+
FUND+
S.JEH.+
COLE+
LANG+
SEAC+
TOVE+
pollux+
ebbide+
sichem c+
SCHBK
LEMO+
SB-S
SD2
MW
onbekend+y
GB1
GB2
NBJ
Radartoren Westkapelle
328.9
148.9
29211
15.77
MD3
SB
SB2
MBJ
OSB
MBNK
MD1
STEE+
MAGNE
MSB
ZBJ
WG7
WBR
RB
OGWG
SCEL+
CHHUY
ZSB
OG1
KL
SCHQ+
OR
GIAN+
DR1
INT1+
catherin+
flamingo+
santa an+
aquata+
2DeVenster

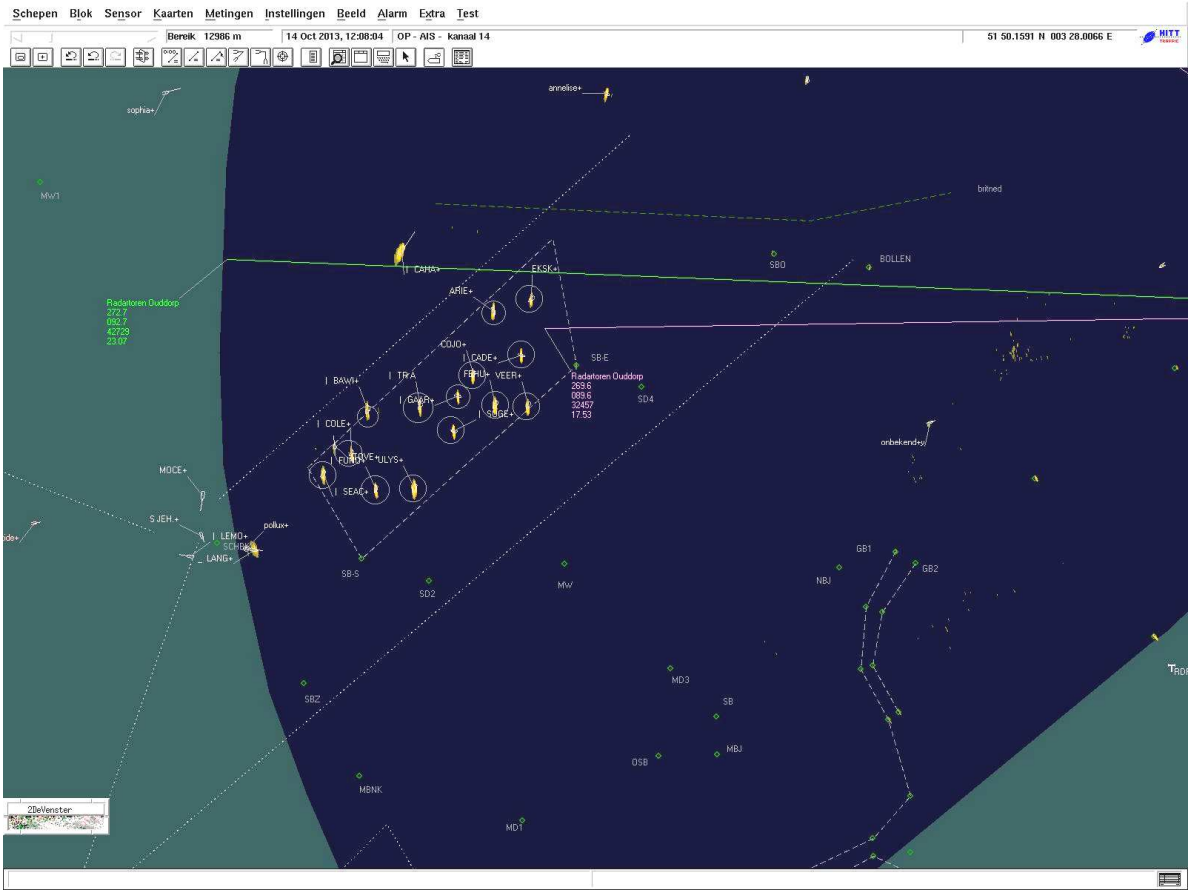
Haamstede


Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 37846 m
14 Oct 2013, 12:04:19
HA - AIS - kanaal 14
51 26.1068 N 003 57.2929 E
Radatoren Haamstede
Vlissingen_Midden
hittsys@sccdp46 [2]
12:04
2013-10-14


Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 14327 m
14 Oct 2013, 12:05:11
HA - AIS - kanaal 14
51 47.3004 N 003 22.9568 E
Radatoren Haamstede
302.4
122.4
23144
12.50

Ouddorp


Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 38639 m
14 Oct 2013, 12:07:09
OP - AIS - kanaal 14
51 51.1757 N 004 01.8687 E
Radatoren Ouddorp
304.8
124.0
42847
23.14
Radatoren Ouddorp
269.6
089.6
32457
17.53
EKSK+
SBO
BOLLEN
britned
TRDFHS
2DeVenster


Schepen Blok Sensor Kaarten Metingen Instellingen Beeld Alarm Extra Test
Bereik 12986 m
14 Oct 2013, 12:08:04
OP - AIS - kanaal 14
51 50.1591 N 003 28.0066 E
Radatoren Ouddorp
272.7
092.7
42729
23.07
Radatoren Ouddorp
269.6
089.6
32457
17.53
EKSK+
SBO
BOLLEN
britned
2DeVenster