



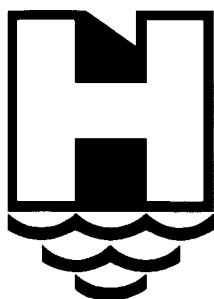
MINISTERIE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
ADMINISTRATIE WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING SCHEEPVAARTBEGELEIDING

**STUDIE AANGAANDE DE IMPACT VAN
WINDTURBINEPARKEN IN ZEE OP DE
SCHELDERADARKETEN**

**FASE 2: HET UITVOEREN VAN EEN
THEORETISCHE STUDIE**

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

NVZ2362
00221



HAECON

Harbour & Engineering Consultants
Deinsesteenweg 110 - 9031 Drongen





6199

STUDIE AANGAANDE DE IMPACT VAN WINDTURBINEPARKEN IN ZEE OP DE SCHELDERADARKETEN

FASE 2: HET UITVOEREN VAN EEN THEORETISCHE STUDIE

INHOUD

0	INLEIDING	1
1	INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE RADARINSTALLATIES	9
1.1	SCHADUWEFFECTEN.....	9
1.1.1	De exacte berekening	9
1.1.2	De benaderde berekening.....	16
1.1.3	De resultaten	20
1.2	RADARDOORSNEDE VAN REFLECTERENDE TURBINEOPPERVLAKKEN	35
1.3	OPTREDEN VAN VALSE ECHO'S	35
1.3.1	Windturbine - schip	35
1.3.2	Schip - windturbine.....	38
1.3.3	Detailstudie van de transformatorcabines	44
1.4	MEERVOUDIGE VALSE ECHO'S (INTERFERENTIE-EFFECTEN)	46
1.5	Globaal overzicht	47
2	INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE MARIFONIE-INSTALLATIES.....	58
3	INVLOED OP DE VEILIGHEIDS - EN COMMUNICA-TIE-INSTALLATIES AAN BOORD VAN DE SCHEPEN	70
3.1	RADAR AAN BOORD VAN DE SCHEPEN	70
3.2	MARIFONIE AAN BOORD VAN DE SCHEPEN.....	75
4	INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE RADIO DIRECTION FINDER (RDF) 76	
5	INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE DGPS REFERENTIEZENDER TE OOSTENDE.....	84
6	INVLOED OP DE WERKING VAN HET AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS)	88
6.1	SPECIFICATIES	88



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



6.2	ENKELE ALGEMENE KENMERKEN	89
6.3	ISI en Delayspread.....	77
6.4	BESLUIT.....	98
7	LIJST VAN FIGUREN	99
8	LIJST VAN TABELLEN.....	102
9	REFERENTIES.....	102



STUDIE AANGAANDE DE IMPACT VAN WINDTURBINEPARKEN IN ZEE OP DE SCHELDERADARKETEN

FASE 2: HET UITVOEREN VAN EEN THEORETISCHE STUDIE

0 INLEIDING

Het eerste deel van deze studie zal gewijd zijn aan radars (hoofdstuk 1), daar de grootste storingen op de radiofrequente systemen zullen optreden met de hoogste frequentie (en dat zijn in dit geval de radars, met frequenties in de buurt van 9 GHz).

De belangrijkste radars zijn uiteraard de radars die het dichtst bij de verschillende windturbineparken liggen. Voor de parken van Totalfina Eolia en Seanergy betreft het de radar op de westelijke dam te Zeebrugge ; voor het windturbinepark van C-Power is de afstand naar de radar van Oostende een heel pak kleiner dan naar de verschillende andere radars. De windturbines hebben een relatief grote radardwarsdoorsnede (afmetingen die in de orde van 80x5m liggen), die echter niet groter is dan een gewoon schip (grootteorde van enkele tientallen m²; metingen in Nederland (Medemblik) vermelden een waarde van 40 m² voor een tweebladige machine [ref. MEDE]). Ook in Engeland werden recentelijk nog gelijkaardige metingen uitgevoerd, die bevestigen dat de radardwarsdoorsnede steeds kleiner is dan de fysische oppervlakte [ref. CAA]. Deze windturbines zullen daarom zichtbaar zijn op de radar, maar de ontvanger minder in verzadiging sturen dan een groot containerschip, wiens as, boeg-achtersteven loodrecht staat op de verbinding schip-radar. Wel kunnen turbines de volgende minder aangename effecten hebben op vaste radars. We kunnen ze onderverdelen in permanent aanwezige effecten en tijdelijke effecten. De permanente effecten zijn veelal van tweeërlei aard :



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



- 1) De verzwakking van de signalen van de schepen, die achter de lijn radar-windturbine gelegen zijn (schaduweffect). Dit beperkt het bereik van de radar van ongeveer 33 km tot 10,4 km voor kleine objecten (met een radardwarsdoorsnede van 1 m^2). Het effect hiervan kan beperkt worden, door te zorgen dat de lijn radar-windturbine zo weinig mogelijk zeeoppervlak beslaat, wat bij plaatsing in zee zoals in dit geval uiteraard niet mogelijk is.

Om dit fenomeen eveneens tot een minimum te beperken is vereist dat een minimale afstand tussen de radar en een object zoals een windturbine gerespecteerd wordt. Door de turbines ver in zee te plaatsen is hier automatisch aan voldaan voor de vaste radars. Op oudere radars met een nalichtend PPI (Plan Position Indicator) fosforschermbild kan men dit zichtbaar maken door de gevoeligheid van de ontvanger maximaal op te drijven.

De ongevoelige zones worden dan zichtbaar als donkere strepen, die gericht zijn volgens de richting radar-windturbine, die vertrekken vanuit de windturbine en zich uitstrekken tot aan de rand van het scherm toe.

- 2) Een verzadiging van de ontvanger in de onmiddellijke omgeving van de windturbine. Dit effect wordt op oude radars zichtbaar als lichtende strepen eveneens gericht volgens de richting radar-windturbine, en die eveneens vertrekken vanuit de windturbine naar de rand van het scherm, maar slechts beperkt zijn tot een zeer kort lijnstukje in de onmiddellijke omgeving van de windturbine (enkele tientallen meter achter de windturbine op de lijn radar-windturbine), en zal daarom niet verder besproken worden.

Deze twee vaste effecten zijn uiteraard pas hinderlijk als er schepen in deze zones aanwezig zijn, omdat ze daardoor ongemerkt aan de radar zouden kunnen voorbijgaan.

De tijdelijke effecten treden pas op bij bepaalde combinaties van posities en oriëntaties van schepen en windturbines t.o.v. de radar. Reflecties, die veroorzaakt worden ofwel door de windturbines, resp. door de schepen, kunnen aldus zorgen voor valse echo's achter (in het verlengde van) het lijnstuk radar-windturbine, resp. radar-schip. Zo zou een groot schip (genre containerschip), dat toevallig zo georiënteerd is dat deze het radarsignaal goed reflecteert naar de windturbines, kunnen aanleiding geven tot valse echo's op zee. Deze valse echo's zijn slechts te vermijden door ofwel een veelhoekige vorm te geven aan de turbinemasten, ofwel (en deze methode is onafhankelijk van de positie van de radar, maar veel duurder) deze turbines (mast en gondel) te bekleden met absorberend materiaal. Ze blijven slechts een zeer beperkte tijd aanwezig, namelijk de tijd dat het schip een juiste positie en hoek blijft behouden tussen de radar en de windturbines, en op voorwaarde dat het schip voldoende dicht bij de windturbine of de radar gelegen is. De beïnvloeding van de scheepsradars is gelijkaardig aan die van de vaste radars aan wal.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Na de bespreking van de effecten op de werking van de VHF communicatie (marifonie – hoofdstuk 2), volgt een bespreking van beide hoger vermelde toepassingen aan boord van de schepen (hoofdstuk 0). Daarna wordt de invloed besproken op achtereenvolgens RDF (Radio Direction Finder - hoofdstuk 3.1), referentie DGPS te Oostende (hoofdstuk 5) en de toekomstig te implementeren AIS (Automatic Identification System – hoofdstuk 5)

De geometrie van de verschillende windturbineparken is gegeven in Fig. 1, waarop ook de belangrijkste radars van de Schelderadarketen zijn opgenomen, d.w.z. de 5 reeds geïnstalleerde (van west naar oost volgens de kustlijn zijn dit Oostende en Zeebrugge langs Belgische zijde en Cadzand, Vlissingen en Westkapelle langs Nederlandse zijde) en de twee geplande offshore sensoren, een op de Oostdyckbank (B) en een op de Schouwenbank (NL). In Fig. 2, Fig. 3 ziet u eerst een detail van het windturbinepark van C-Power (witte vierkantjes), dan een detail van de windturbineparken van Totalfina Eolia (zwarte vierkantjes) en Seanergy (rode diamantjes).

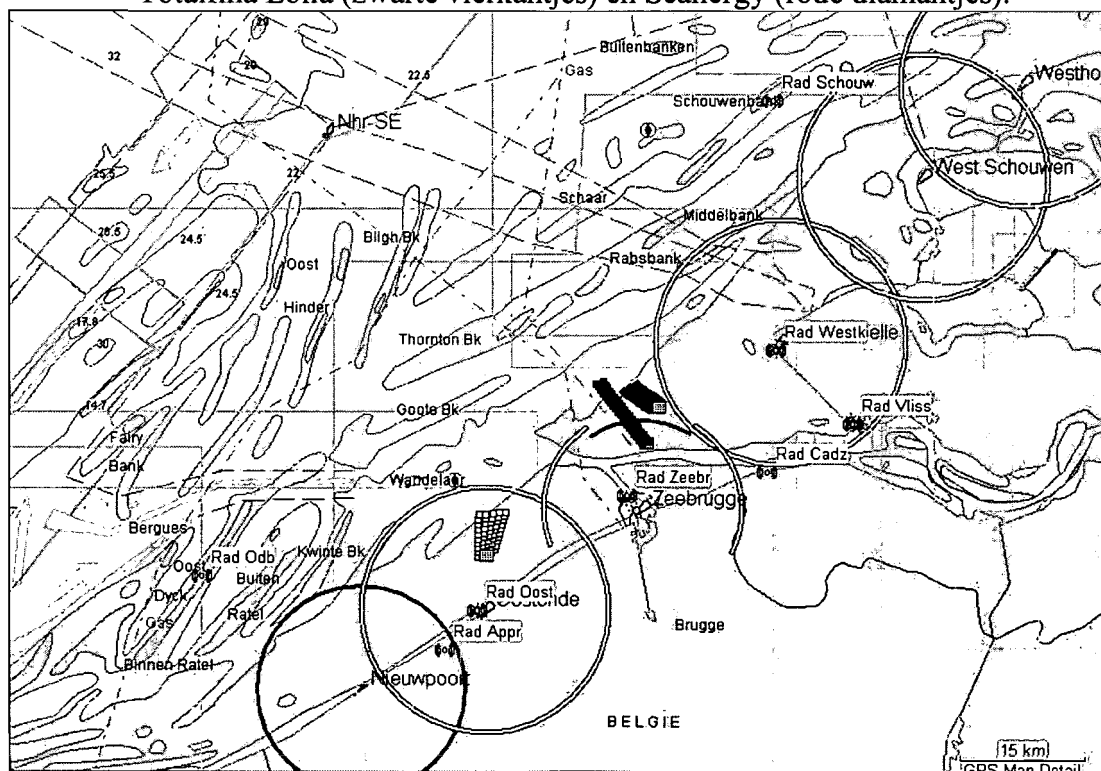


Fig. 1: overzicht van de verschillende windturbineparken en de belangrijkste radars van SRK

De posities van de windturbines en de beschouwde radars komen overeen met de geografische UTM 31 – ED 50 coördinaten in meter uit.

Tabel 1, Tabel 2 en

Tabel 3 voor respectievelijk de windturbineparken van C-Power, Totalfina Eolia en Seanergy. Gezien het grote aantal windturbines, is het hier niet overbodig om aan te geven hoe de windturbines per windturbinepark genummerd werden:



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



C-Power

Bij C-Power is de eerste windturbine diegene die links vooraan gesitueerd is (kleinste coördinaten in beide richtingen). De volgende is diegene die iets meer naar het oosten (en noorden) staat,.... Na een volledige rij ("evenwijdig" met de kustlijn) beginnen we opnieuw aan de linkerkant te tellen (windturbine CP06,CP11,...). De nummering werd ook aangegeven op Fig. 2.



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



	UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]		UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]
CP01	494 916,68	5 682 934,77	CP26	494 958,17	5 685 628,28
CP02	495 409,18	5 683 135,93	CP27	495 646,02	5 685 807,54
CP03	495 901,68	5 683 337,09	CP28	496 318,70	5 685 982,84
CP04	496 394,19	5 683 538,24	CP29	496 976,69	5 686 154,31
CP05	496 886,69	5 683 739,40	CP30	497 620,48	5 686 322,09
CP06	494 924,87	5 683 466,71	CP31	494 966,85	5 686 191,15
CP07	495 456,38	5 683 668,31	CP32	495 694,85	5 686 358,30
CP08	495 985,52	5 683 869,01	CP33	496 403,52	5 686 521,02
CP09	496 512,33	5 684 068,82	CP34	497 093,63	5 686 679,48
CP10	497 036,81	5 684 267,75	CP35	497 765,88	5 686 833,83
CP11	494 933,07	5 683 998,65	CP36	494 975,68	5 686 764,22
CP12	495 503,36	5 684 198,32	CP37	495 744,33	5 686 916,44
CP13	496 068,62	5 684 396,23	CP38	496 489,09	5 687 063,93
CP14	496 628,91	5 684 592,40	CP39	497 211,07	5 687 206,91
CP15	497 184,29	5 684 786,85	CP40	497 911,27	5 687 345,58
CP16	494 941,29	5 684 532,33	CP41	494 984,67	5 687 347,83
CP17	495 550,29	5 684 727,72	CP42	495 794,48	5 687 482,14
CP18	496 151,26	5 684 920,52	CP43	496 575,42	5 687 611,66
CP19	496 744,34	5 685 110,80	CP44	497 329,02	5 687 736,64
CP20	497 329,69	5 685 298,59	CP45	498 056,67	5 687 857,32
CP21	494 949,66	5 685 075,43	CP46	494 993,83	5 687 942,26
CP22	495 597,84	5 685 264,06	CP47	495 845,31	5 688 055,54
CP23	496 234,61	5 685 449,36	CP48	496 662,52	5 688 164,25
CP24	496 860,26	5 685 631,42	CP49	497 447,48	5 688 268,68
CP25	497 475,09	5 685 810,34	CP50	498 202,07	5 688 369,07
Cab	495 849,28	5 683 004,62			

Tabel 1:
UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van C-Power

Totalfina Eolia

De rangschikking bij Totalfina Eolia is iets ingewikkelder omdat men daar reeds rekening heeft gehouden met een plaatsing in twee fasen. In een eerste fase worden de voorste 20 (TFE01 tot en met TFE20) geplaatst, waarna de volgende 20 (TFA01 tot en met TFA20) daarachter zullen worden geplaatst. De nummering van de eerste begint linksboven en loopt eerst richting kust (TFE10) om dan de naaste buur te nemen (TFE11) en dan via een evenwijdige lijn aan de eerste opnieuw van de kust te verwijderen. De tweede fase wordt op een analoge manier genummerd. De derde windturbine (TFE03 of TFA03) ligt dus tegenover de achttiende van dezelfde fase (TFE18 of TFA18). In Fig. 3 staat de nummering aangegeven voor de eerste fase.



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



	UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]		UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]
TFE01	512 154	5 700 086	TFA1	509 266	5 703 872
TFE02	512 443	5 699 703	TFA2	509 547	5 703 528
TFE03	512 732	5 699 320	TFA3	509 841	5 703 149
TFE04	513 021	5 698 937	TFA4	510 130	5 702 766
TFE05	513 310	5 698 554	TFA5	510 419	5 702 383
TFE06	513 599	5 698 171	TFA6	510 708	5 702 000
TFE07	513 888	5 697 789	TFA7	510 997	5 701 617
TFE08	514 177	5 697 406	TFA8	511 286	5 701 234
TFE09	514 486	5 697 038	TFA9	511 575	5 700 852
TFE10	514 775	5 696 655	TFA10	511 864	5 700 469
TFE11	515 541	5 696 927	TFA11	512 650	5 700 756
TFE12	515 252	5 697 310	TFA12	512 361	5 701 138
TFE13	514 963	5 697 693	TFA13	512 072	5 701 521
TFE14	514 674	5 698 075	TFA14	511 782	5 701 904
TFE15	514 385	5 698 458	TFA15	511 493	5 702 287
TFE16	514 095	5 698 823	TFA16	511 204	5 702 670
TFE17	513 806	5 699 224	TFA17	510 915	5 703 053
TFE18	513 517	5 699 607	TFA18	510 626	5 703 436
TFE19	513 228	5 699 990	TFA19	510 337	5 703 819
TFE20	512 939	5 700 373	TFA20	510 062	5 704 212
Cab	515 191	5 696 696			

Tabel 2 :

UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van Totalfina Eolia (TFE = eerste fase; TFA = tweede fase)

De nummering van het windturbinepark van Seanergy verloopt dan weer gelijkaardig aan de nummering die bij C-Power is toegepast, maar nu wordt er rechts bovenaan begonnen met tellen. Net als bij C-Power wordt er eerst “evenwijdig” met de kustlijn geteld alvorens aan een nieuwe rij te beginnen. Enkele nummers op Fig. 3 zouden deze manier van tellen moeten verduidelijken.



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



	UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]		UTM 31 – ED 50 Easting [m]	UTM 31 – ED 50 Northing [m]
EI01	514 088	5 703 832	EI26	515 728	5 702 687
EI02	513 695	5 703 619	EI27	515 335	5 702 474
EI03	513 302	5 703 406	EI28	514 942	5 702 261
EI04	512 909	5 703 193	EI29	514 549	5 702 048
EI05	512 516	5 702 980	EI30	514 156	5 701 835
EI06	514 416	5 703 603	EI31	516 056	5 702 458
EI07	514 022	5 703 390	EI32	515 663	5 702 245
EI08	513 629	5 703 177	EI33	515 270	5 702 032
EI09	513 236	5 702 964	EI34	514 877	5 701 819
EI10	512 843	5 702 751	EI35	514 484	5 701 606
EI11	514 744	5 703 374	EI36	516 384	5 702 229
EI12	514 351	5 703 161	EI37	515 991	5 702 016
EI13	513 958	5 702 948	EI38	515 598	5 701 803
EI14	513 565	5 702 735	EI39	515 205	5 701 590
EI15	513 172	5 702 522	EI40	514 812	5 701 377
EI16	515 072	5 703 145	EI41	516 712	5 702 000
EI17	514 679	5 702 932	EI42	516 319	5 701 787
EI18	514 286	5 702 719	EI43	515 926	5 701 574
EI19	513 893	5 702 506	EI44	515 533	5 701 361
EI20	513 500	5 702 293	EI45	515 140	5 701 148
EI21	515 400	5 702 916	EI46	517 040	5 701 771
EI22	515 007	5 702 703	EI47	516 647	5 701 558
EI23	514 614	5 702 490	EI48	516 254	5 701 345
EI24	514 221	5 702 277	EI49	515 861	5 701 132
EI25	513 828	5 702 064	EI50	515 468	5 700 919
Cab	516 686	5 701116			

Tabel 3:
UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van Seanergy



1 INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE RADARINSTALLATIES

1.1 SCHADUWEFFECTEN

Dit is veruit het belangrijkste effect en wordt voornamelijk veroorzaakt door de volle mast. Het gebruik van een holle mast (type hoogspanningsmast), zou hier enige verbetering kunnen brengen. Als leidraad wordt in dit rapport een grote turbine gebruikt (cfr. V80 windturbine van Vestas):

- Basisstraal 2,5 m (diameter 5 m)
- Bovenstraal 2 m (diameter 4 m)
- Hoogte tot onder de gondel (70 à 80 m)
- Hellingshoek van de wieken: 6 zestigdelige graden
- Schuine gondel van 5 m x 3 m x 4 m
- Afstand gondel tot middelpunt wieken: 1 m
- Hoogte van de as boven het ondervlak van de wieken: 1,2 m
- Straal wieken: (35 à 40 m (diameter rotor 70 à 80m)
- Afmeting reflecterende wieken: maximale grootte: 1,5 m op 7,2 m van de as

1.1.1 De exacte berekening

De exacte elektromagnetische modellering was gebaseerd op de vorm zoals voorgesteld in Fig. 4. De cirkels aan de basissen werden benaderd door een zeventienhoek, waarbij de afgebeelde buitenvlakken allen worden verondersteld oneindig geleidend te zijn. De binnenvlakken zijn open verondersteld maar hebben verder geen invloed op de berekeningen.

De oorspronkelijke bedoeling was om m.b.v. het EPICS programma, dat gebaseerd is op geometrisch-optische diffractietheorie [JULL], inclusief hellingsdiffractie, de signalen achter de verschillende windturbineparken te simuleren, voor de slechtst mogelijke positie van de windturbine, i.e. wanneer de gondel naar de radar is toegedraaid en de wieken zo vertikaal mogelijk staan (de vaste radars werken in verticale polarisatie). Aangezien er vijftien "obstakels" nodig zijn om één windturbine op een zo getrouw mogelijke manier te simuleren en gezien het grote aantal windturbines (in totaal 140 windturbines + 3 transformatorcabines) wordt in de volgende paragraaf een benaderende methode besproken, die de exacte berekeningen tot een nauwkeurigheid van 1 dB benadert.

Bij vorige studies met het EPICS programma werden de volgende effecten vastgesteld:



Vooreerst ontstaat een schaduwzone, achter de turbine(s), waarvan de vorm in doorsnede ongeveer benaderd mag worden door een driehoek met als basis de breedte van de toren van de windturbine, en die zich voor één windturbine ongeveer 75 tot 100 m achter de windturbine uitstrekt. Noteer dat deze lengte afhankelijk is van de afstand tussen de desbetreffende radar en de windturbine. Als deze zodanig klein wordt, dat de bundelbreedte van de radar kleiner wordt dan de breedte van de turbine vanuit de radar gezien, dan wordt de schaduwzone veel groter. Dit impliceert dat de afstand tussen radar en de verticale as van de turbine groter moet zijn dan:

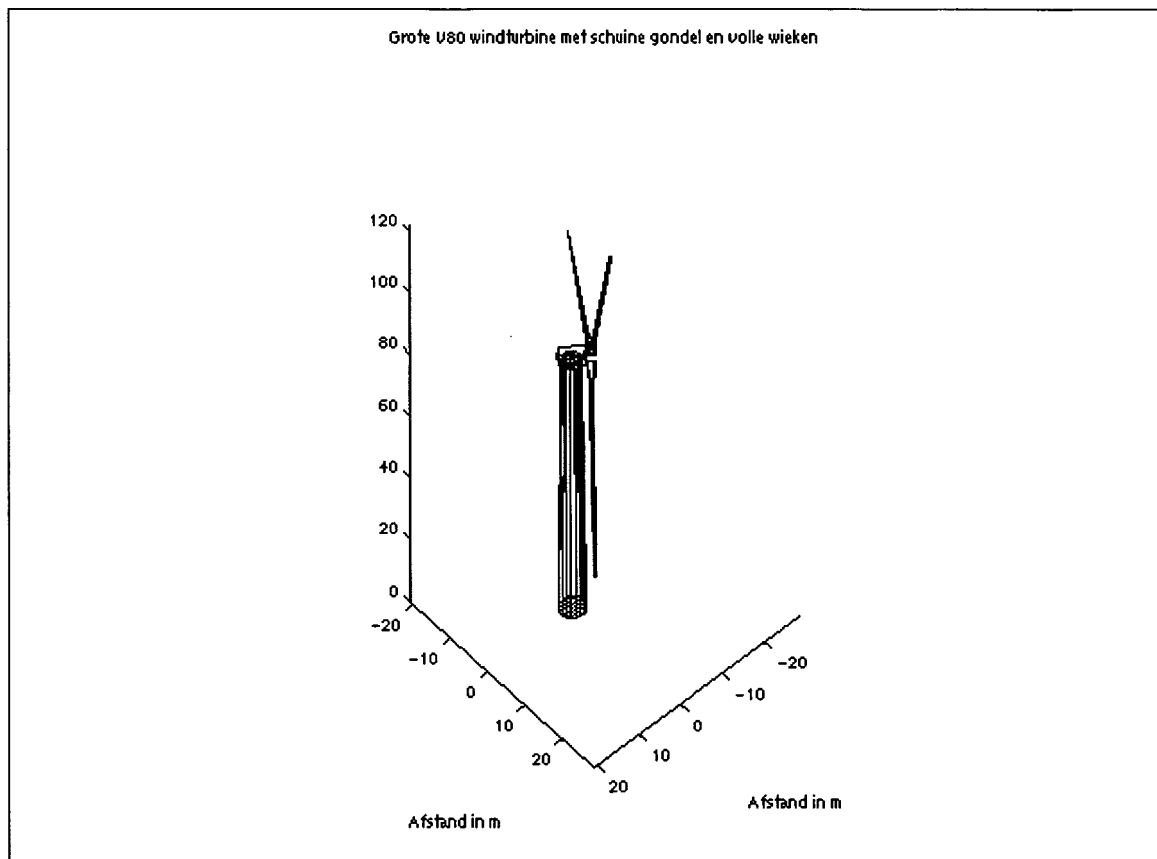


Fig. 4: elektromagnetisch model van een grote windturbine

$$R \geq \frac{R_t}{\sin(\theta_{3dBh}/2)}$$

Voor een horizontale bundelbreedte (θ_{3dBh}) van $0,265^\circ$ en een basisstraal (R_t) van 2 m levert dit 865 m (V80 windturbine). Indien de windturbine dichter bij de radar gelegen is neemt de uitgestrektheid van deze diepe schaduwzone toe. Indien de basis breder wordt uitgebouwd (2,5 m straal), neemt deze afstand toe tot 1081 m. De verklaring van deze formule kan uitgelegd worden door een radarstraal te volgen, die via de rand van de hoofdlob (- 3 dB) de radarantenne verlaat, en via diffractie aan de rand van de turbinetoren het object achter de toren bereikt.



Deze straal weerkaatst dan op het object, en diffracteert via dezelfde rand van de turbinetoren terug in het -3 dB punt van het stralingspatroon van de radarantenne. Het signaal wordt in dat geval een extra 6 dB verzwakt t.o.v. een signaal dat enkel door de rand gediffracteerd wordt.

Een tweede voorwaarde bestaat erin dat het wateroppervlak voldoende belicht wordt door de radar. Dit leidt tot een minimale afstand tot de radar van:

$$R \geq \frac{h_t}{\tan(\theta_{3dBv} / 2)}$$

Deze verticale bundelbreedtes (θ_{3dBv}) zijn veel groter (grootteorde 15 graden) dan de horizontale bundelbreedtes en leveren dus geen probleem op, aangezien een hoogte (h_t) van 39,2 m van de radarantenne een minimale afstand van 298 m oplevert en dus beduidend kleiner dan de vorige beperking. Aldus belicht het verticale antennepatroon de toren zo laag mogelijk, en kunnen objecten in de onmiddellijke omgeving van de windturbine waargenomen worden. Als men buiten deze diepe schaduwkegel ligt, wordt het signaal nog steeds beïnvloed door de aanwezigheid van de turbine, maar in veel mindere mate.

Voor de zeeradar werden de volgende belangrijke gegevens gehanteerd:

- zendvermogen 40 kW,
- antennewinst 34 dB,
- hoogte 39,2m,
- minimaal detecteerbaar signaal -104 dBm of -134 dBW,
- frequentie 8,935 of 9,065 GHz.

Ter illustratie wordt een windturbine op een afstand van 900 m (x-richting) van de radar, die zelf in de oorsprong ligt, gezet. Achter de windturbine (nadat de nabije-veld verschijnselen zijn uitgewerkt) wordt de radardwarsdoorsnede van het object gewijzigd door zijn aanwezigheid. De waarde van de wijziging van de radardwarsdoorsnede (onafhankelijk van het zendvermogen en het minimum detecteerbaar signaal) is in decibel weergegeven in

Fig. 5 (3-dimensioneel) en

Fig. 6 (dwarsdoorsnede).

Noteer de fel uitgerokken verticale schaal (20 x) van

Fig. 5. Het dominerende effect is de schaduw van de toren, hoewel de reflecties tegen de gondel de radardwarsdoorsnede in dit geval zelfs een positieve invloed hebben (gebied rond -2700 m). Dit is wel specifiek voor de gekozen stand van de gondel. Meer specifiek op een afstand van 900 m achter de windturbine is de radardwarsdoorsnede van een object in het slechtste geval een factor 100 (of 20 dB) verzwakt t.o.v. van het signaal zonder obstructie van de windturbine (Fig. 6).



De diffractie op de wieken is te zien aan de (zeer) kleine opstootjes van het signaal in de schaduwzone (tussen + en - $1700/900 \cdot 2 = 3,8$ m). Noteer dat voor grotere afstanden achter de windturbine gelijkaardige curven bekomen worden, en dat de wieken op detectie van schepen niet veel effect hebben.

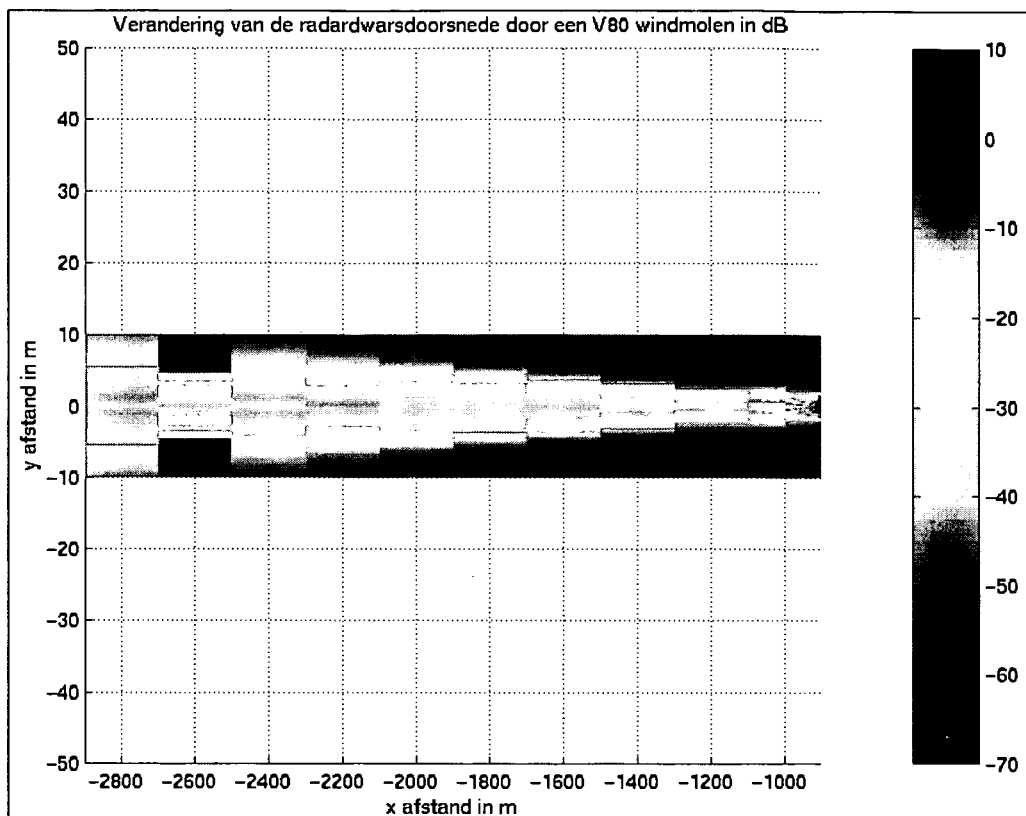


Fig. 5: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object achter een V80 windturbine uiterst rechts op de figuur (gelegen op coördinaten (-900, 0) m)



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

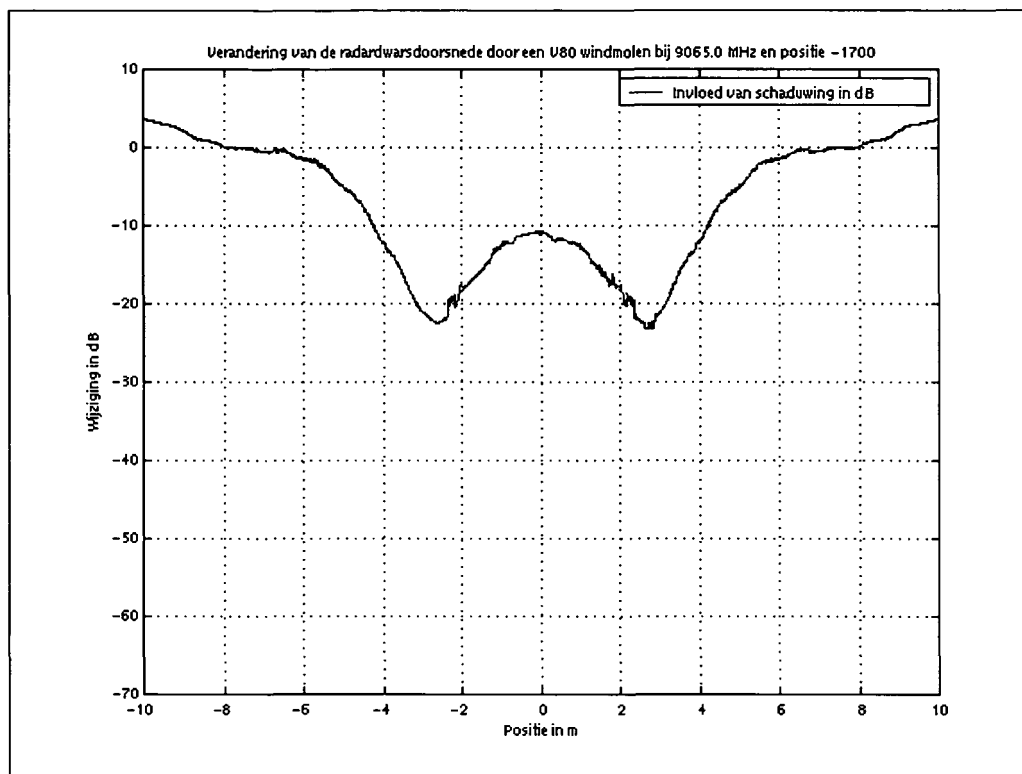


Fig. 6: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object 1700 m achter een V80 windturbine zelf gelegen op 900 m van de radar

Door deze verkleining van de radardwarsdoorsnede wordt het bereik van de radar ingekort. Dit wordt geïllustreerd in

Fig. 7, waar de signalen, gereflecteerd door een object met een radardwarsdoorsnede van 1 m^2 , berekend met de radarvergelijking [BART], die onder het detectieniveau van de radar vallen, donkerblauw zijn ingekleurd. Voor deze figuur is nog de oude ontvangergevoeligheid genomen, nl. -98 dBm of -128 dBW. Door gebruik te maken van lage-ruis versterkers is de radargevoeligheid sinds 2000 opgetrokken tot -134 dBW, wat het elektromagnetisch bereik optrekt van 32,4 km met 50 kW tot 43,2 km met 40 kW piekvermogen. De werkelijke berekeningen, die later aan bod komen, worden geïllustreerd aan de hand van dit fictief voorbeeld. Voor alle figuren vanaf

Fig. 7 gelden de volgende geometrische conventies:

- De x-as loopt van West naar Oost, de y-as van Zuid naar Noord.
- Alle schalen zijn in m. De inkleuring hangt af van elke afbeelding

Voor dit fictief geval worden 3 windturbines op één lijn evenwijdig met de y-as met een afstand van 1000 m van de radar geplaatst en een onderlinge tussenafstand van 200 m. In dit fictief geval loopt de kust van NW tot ZO, bevindt het land zich in het Zuidwesten en de zee in het Noordoosten. Het einde van het bereik van de radar boven het zeeoppervlak is diepblauw (donker) gekleurd.



Met het bereik van de radar boven het land wordt geen rekening gehouden, omdat de radar voor deze toepassing niet boven het land wordt gebruikt, en wordt het einde van het bereik boven het land ook niet aangegeven. De lichtgekleurde delen van de grafiek boven het wateroppervlak vormen de normale oppervlakte, die door de radar bestreken wordt.

De drie windturbines (donkere stipjes juist rechts van de radar) verminderen het normale bereik van de zeeradar (32,4 km met de oude versterker) met een factor 3 tot ongeveer 10,3 km voor objecten met een radardwarsdoorsnede van 1 m^2 , in een volume gelegen dat iets groter is dan dat gelegen tussen de raakvlakken radar-windturbinemast (links en rechts). Noteer dat vooraleer een object volledig van het radarscherm verdwijnt het bereik voldoende groot moet zijn. Voor kleinere afstanden verkleint het signaal wel, maar (lichtblauwe (of grijze bij zwart-wit afdruk) strepen) verdwijnen de doelen niet van het radarscherm, tenzij voor enkele tientallen meter tot ongeveer 100 m achter de windturbine.

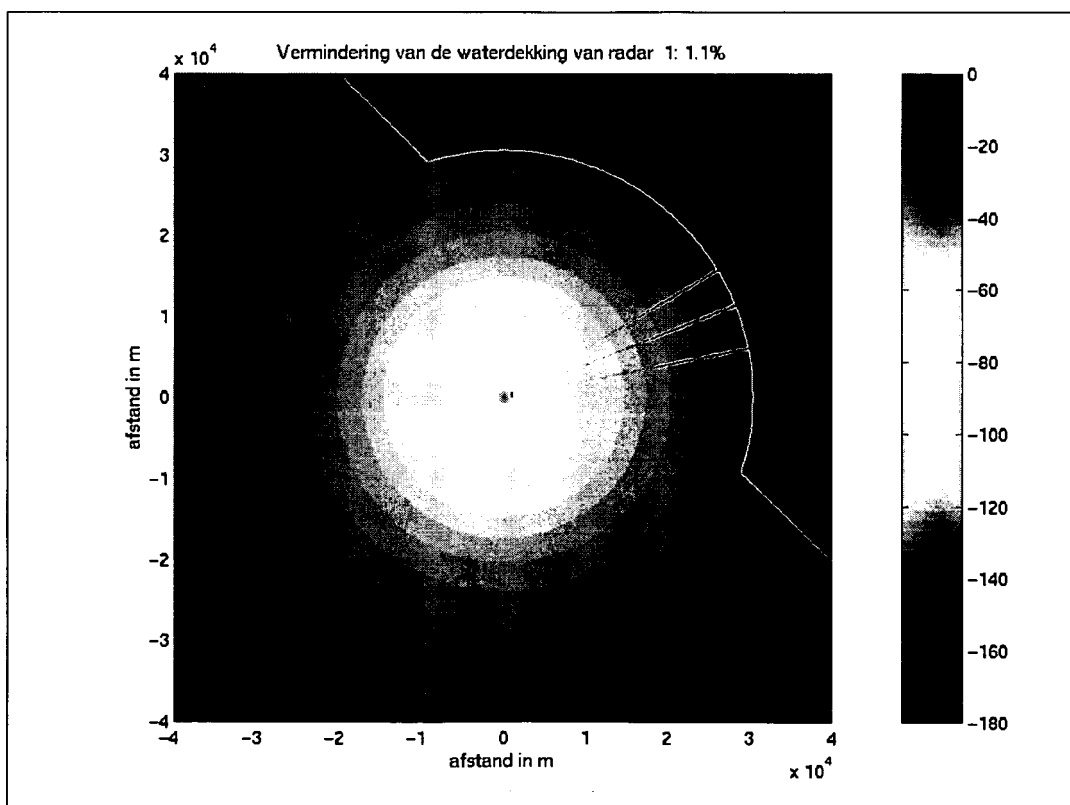


Fig. 7: schaduw van een radar met dezelfde kenmerken als die van Zeebrugge door drie V80 windturbines

Het stuk dat onder het ontvangstniveau valt ten gevolge van de schaduw van de windturbines werd eveneens donkerblauw ingekleurd (de schaal loopt van -180 dBW tot 0 dBW), tenzij op delen die aan wal gelegen zijn, en geeft effectief het stuk weer waar schepen volledig zullen verdwijnen, op voorwaarde dat zij volledig binnen de schaduw van de windturbine zitten.



Een groot zeeschip zal daar alleen maar last van hebben als zijn koers volledig samenvalt met de lijn radar-windturbine. Zoniet zal steeds een stuk van de voor- of achtersteven voor een detecteerbaar signaal zorgen. De verhouding tussen de extra schaduw en het normale bestrijkingsoppervlak van de radar boven zee, is een maat voor de storing te wijten aan de windturbines en bedraagt in dit geval 1,1% van de oppervlakte.

Het juiste effect kan men slechts zien als men uitzonderlijk uitvergroot (hier is de verticale schaal 10 x groter dan de horizontale) en bovendien de toren veel groter neemt dan hij in werkelijkheid is (Fig. 8 geeft de schaduwing van een metalen toren van 50 m diameter om het effect duidelijk in de verf te zetten). Het getal dat de vermindering weergeeft van het bestreken zeeoppervlak en dat enkel betrekking heeft op de sector in kwestie (0,1 radiaal of 5,73 graden), heeft dan ook geen enkele zin. Noteer dat de resolutie van de curve uiterst belangrijk is om een juist beeld van de effecten te bekomen. De schaduwing in de onmiddellijke omgeving van de toren, en die voor dit geval enkele honderden meter bedraagt, is niet weergegeven.

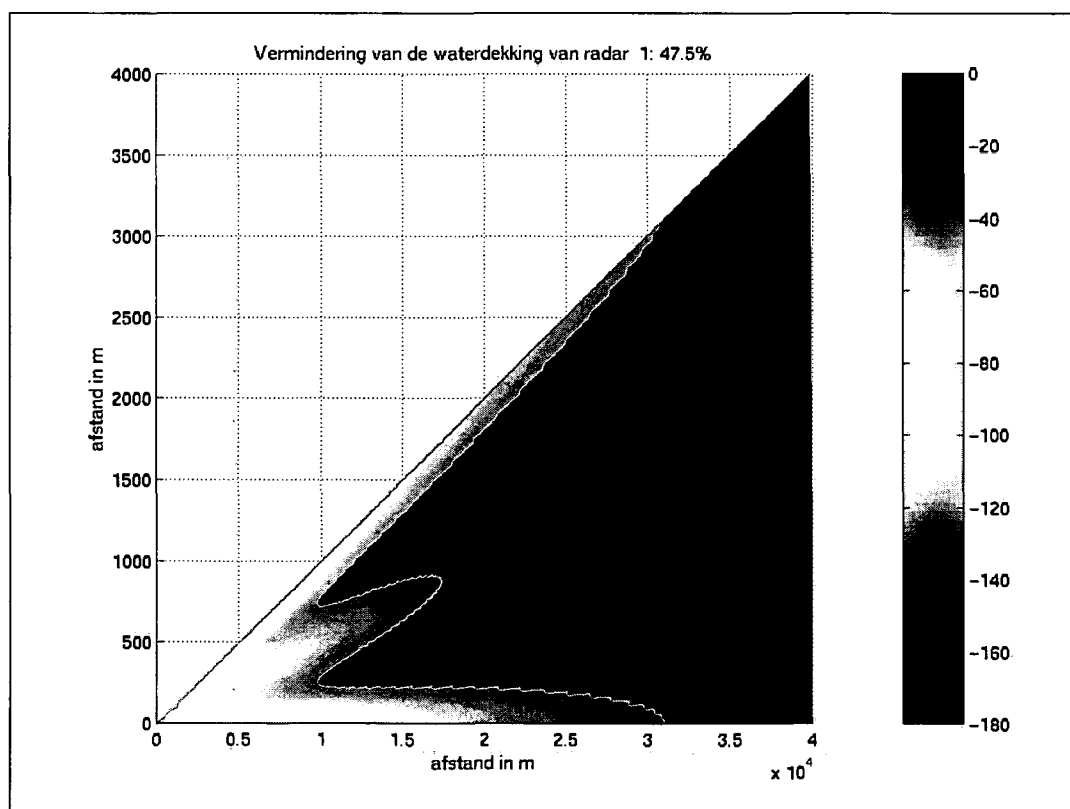


Fig. 8: effect van een grote toren op het bereik van de radar

De vermindering van de waterdekking is bijgevolg een aanvaardbare maat om het effect van de windturbines te kenmerken. Om de schadelijke effecten van de windturbines te minimaliseren volstaat een goede keuze van hun inplanting, door ervoor te zorgen dat deze zo ver mogelijk van de bestaande radars gelegen zijn. Voor de windturbineposities, die in deze studie besproken worden is dit het geval.



1.1.2 De benaderde berekening

Zoals reeds eerder vermeld zou door het grote aantal “obstakels” (15 “obstakels” per windturbine (140 in totaal) en één “obstakel” voor elke transformatorcabine (3 in totaal) leiden tot een totaal van 2103 “obstakels”) de rekentijd van het EPICS programma snel oplopen. Daarom zijn we op zoek gegaan naar een benadering die toch nog voldoende nauwkeurig is en aldus geen al te optimistische conclusies toelaat.

In deze benadering hebben we elke windturbine en transformatorcabine steeds vervangen door een volmaakt geleidende metalen plaat (loodrecht op de verbindingsslijn tussen radar en de desbetreffende windturbine respectievelijk transformatorcabine). Dit is een worst case scenario. Ook voor de hoek waarbinnen we de diffracties in rekening brengen zijn we op zoek gegaan naar een benadering. Indien we in ELK punt immers de diffractie van ALLE windturbines en transformatorcabines (althans voor diegene waarvoor hij binnen een bepaalde hoek vanuit de radar gezien ligt) zouden willen in rekening brengen zouden deze exponentieel toenemen met het aantal obstakels. Dit zou de berekeningstijden sterk doen oplopen. Daarom worden diffracties slechts in rekening gebracht binnen een beperkte hoek rond de radar-windturbine. Om de discontinuïteit die door deze benadering bij het afbreken van de “diffractiezone” optreedt te beperken tot een maximum van ± 1 dB, hebben we de hoek bepaald waarbinnen de diffracties in rekening gebracht worden. Daarom, evenals om onze vereenvoudiging te kunnen vergelijken met de eerdere studies gemaakt met het EPICS programma, hebben we in eerste instantie de Fig 5 en Fig 6 eens nagerekend met onze benadering. In Fig. 9 (cfr.

Fig. 5) zijn nu wel de effecten van de wieken en de gondel verdwenen (worden niet meer in rekening gebracht omdat de effecten van de mast voor de scheepsvaart veel groter zijn). Noteer dat deze figuur slechts positieve y-waarden bevat, maar dat de figuur volledig symmetrisch is. Fig. 10 is een detailtekening (dezelfde schaal als

Fig. 5) van dezelfde figuur zodat de lezer merkt dat er ook hier blauwe strepen in het patroon voorkomen.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

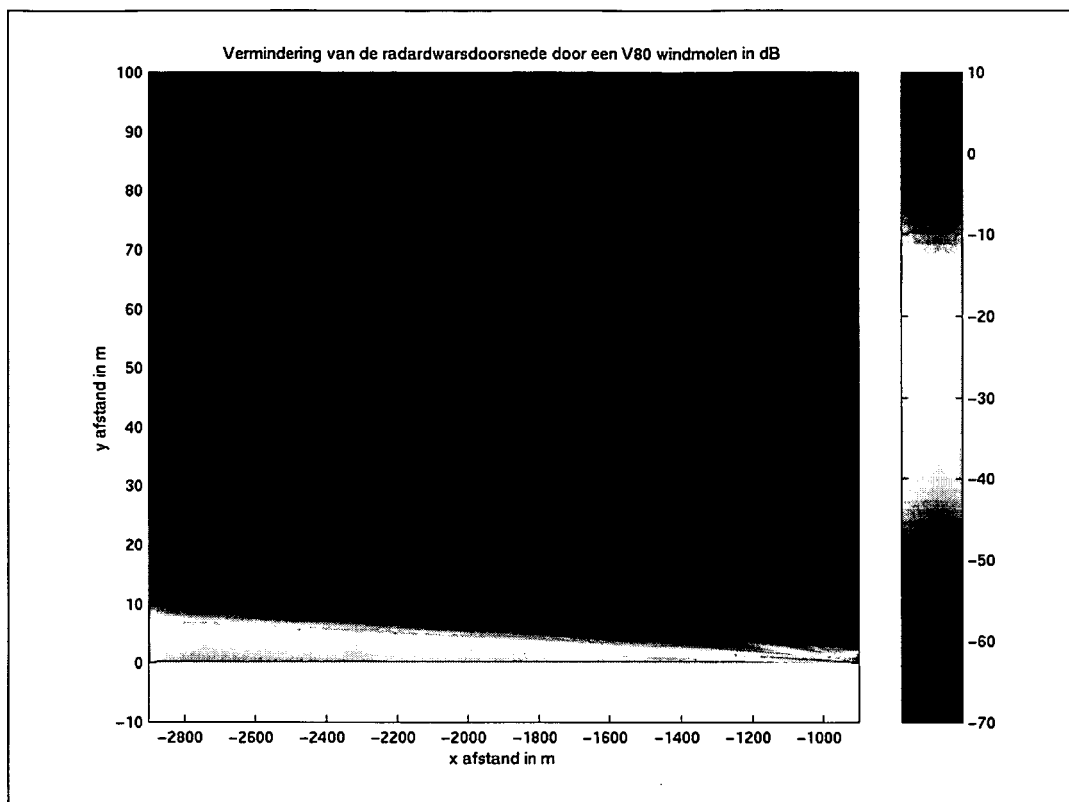


Fig. 9: grootte van de wijziging van radardwarsdoorsnede in dB van een object achter een V80 windturbine uiterst rechts op de figuur gelegen ($x = -900$ m) en een radar in de oorsprong; gebruikmakende van de benadering binnen het interval $\pm 10^\circ$ awin

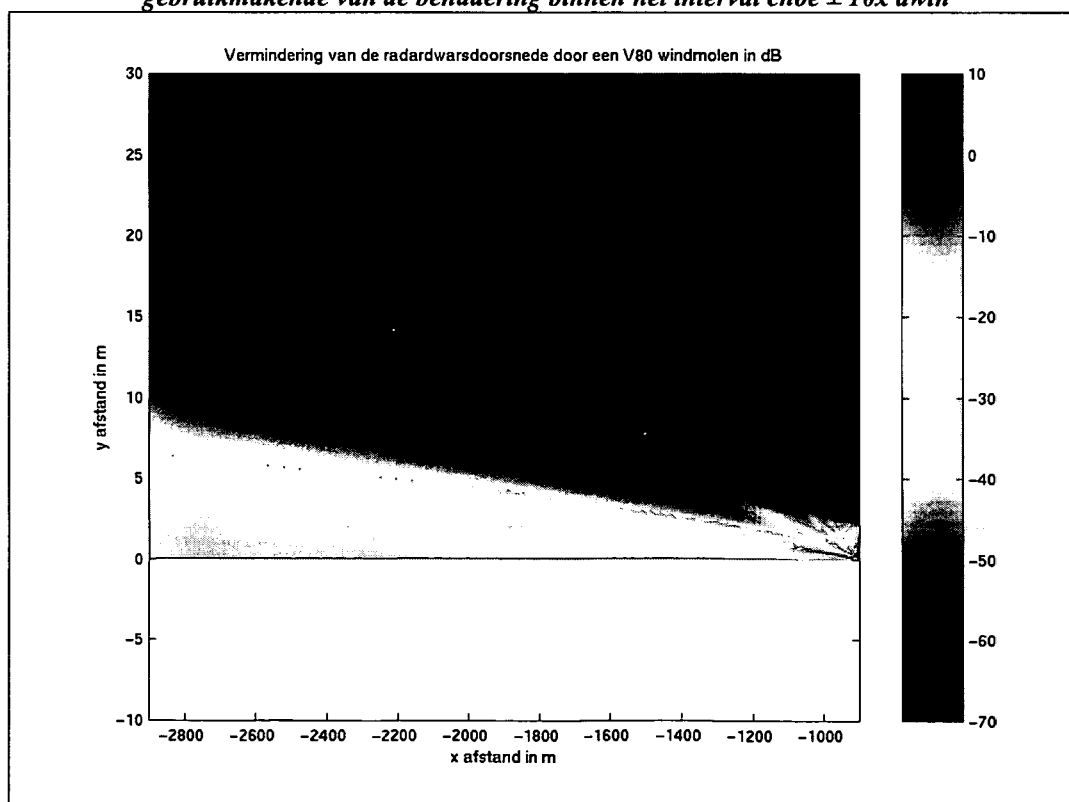


Fig. 10: detail van de vorige figuur rond de Y-as



Vooraleer we de grenzen van de “diffractiezone” gaan bepalen misschien toch eerst een woordje uitleg. De diffractie van een bepaalde windturbine wordt in rekening gebracht voor alle punten die zich voorbij de desbetreffende windturbine en binnen de rode zone op

Fig. 11 bevinden. In deze figuur wordt deze grens enerzijds bepaald door $\text{choe} \pm 2x \text{ awin}$ (links) en anderzijds door $\text{choe} \pm 3x \text{ awin}$ (rechts).

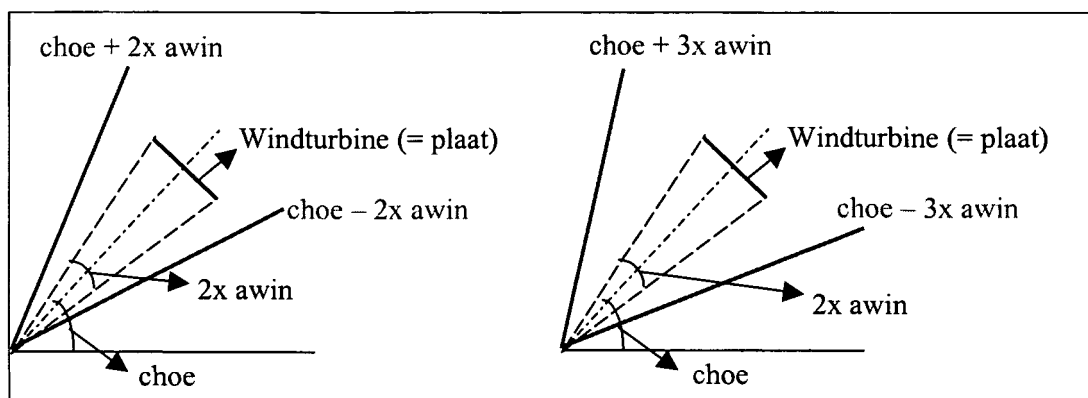


Fig. 11: figuur ter verduidelijking van de gebruikte benadering



Uit de onderstaande figuren (Fig. 12, maar vooral uit Fig. 13) kan je afleiden tot waar de “diffractiezone” moet lopen. In een eerste benadering hadden we gedacht dat een zone van tweemaal de halve openingshoek (openingshoek is in Fig. 11 aangeduid door $2 \times \alpha_{\text{win}}$) rond de centrale hoek (choe in Fig. 11) gezien vanuit de radar zou volstaan (blauw – discontinuïteit bij $y = 8\text{m}$), maar dit bleek veel te optimistisch. Extra simulaties met vijfmaal (groen - discontinuïteit bij $y = 20\text{m}$), tienmaal (zwart - discontinuïteit bij $y = 40\text{m}$) en vijftienmaal (rood - discontinuïteit bij $y = 60\text{m}$) de openingshoek leren ons dat we voor een maximale fout van $\pm 1\text{ dB}$ minstens tienmaal de openingshoek rond de centrale hoek moeten nemen.

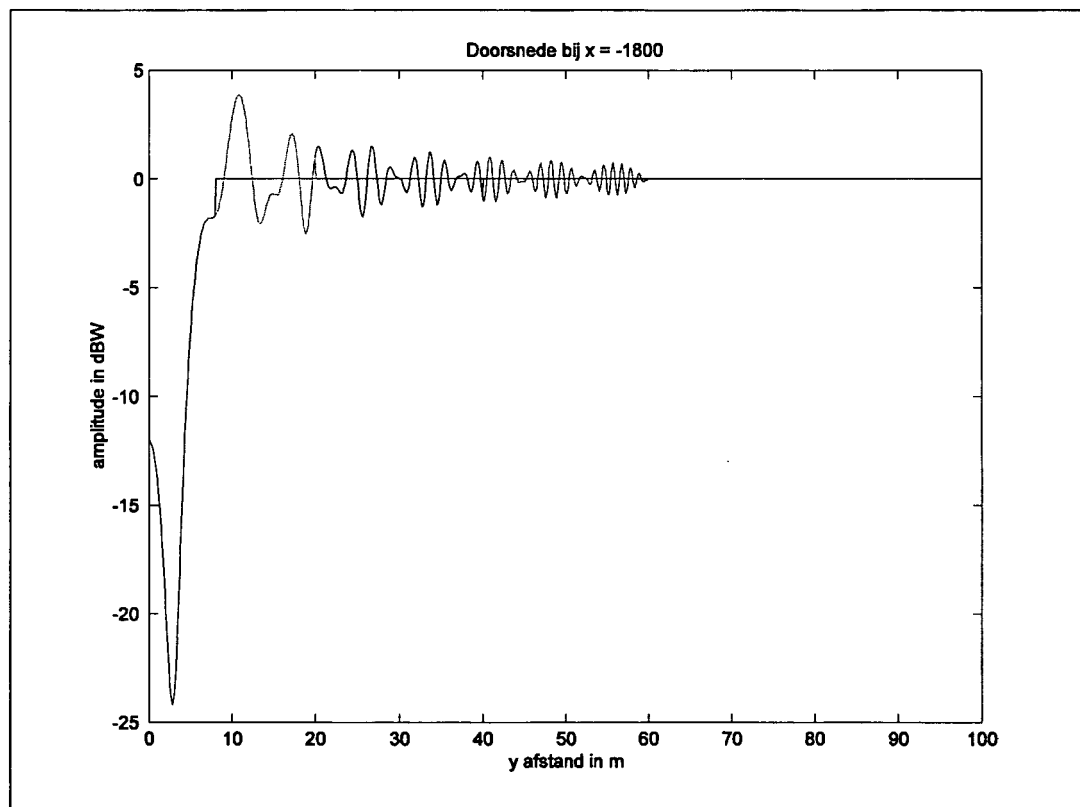


Fig. 12: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object 1800m achter een V80 windturbine zelf gelegen op 900m van de radar

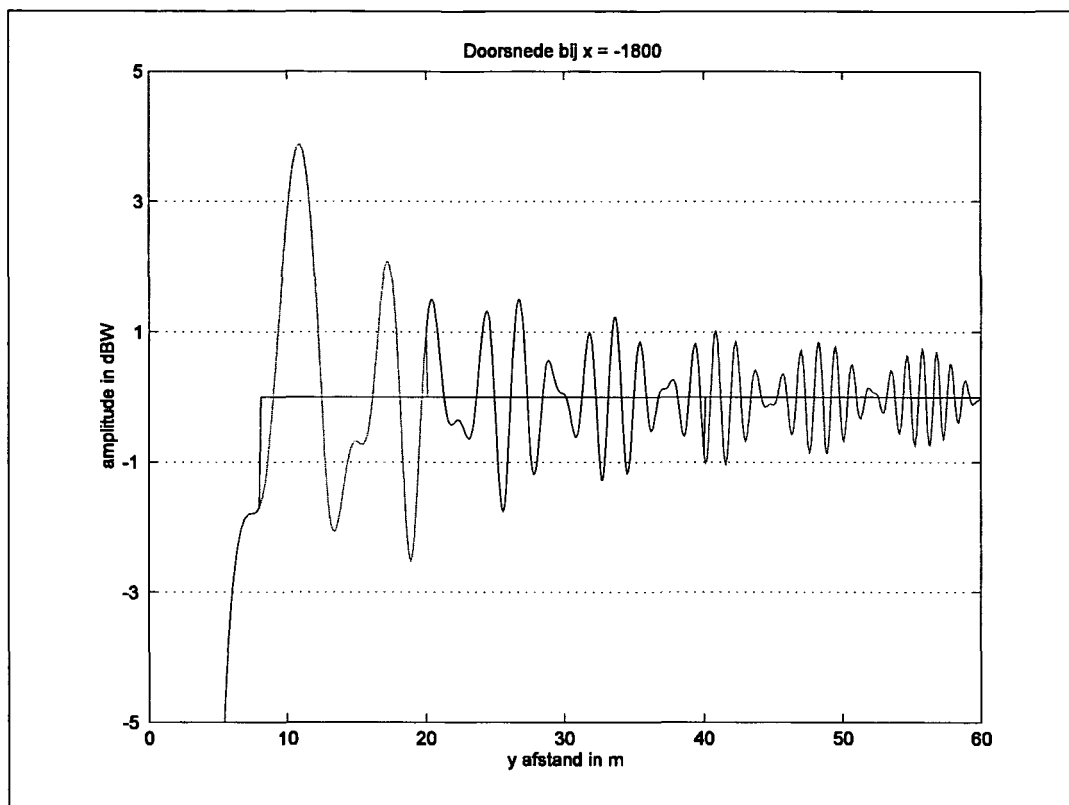


Fig. 13: detail van de vorige figuur

1.1.3 De resultaten

In de berekeningen die in deze paragraaf worden besproken werd rekening gehouden met de radars van de Schelderadarketen uit, waarbij onmiddellijk moet worden opgemerkt dat de twee offshore radars, zijnde Oostdyckbank (B) en Schouwenbank (NI), nog niet actief zijn (bouw gepland voor deze zomer).



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Locatie	UTM 31 – ED50		Hoogte [m]	Ref	Frequentie [MHz]
	Easting [m]	Northing [m]			
Nederland					
Westkapelle	530 687	5 708 234	44,1	NAP	9 065
Vlissingen	539 900	5 699 173	46,0	NAP	8 935
Cadzand	529 762	5 693 366	30,5	NAP	8 935
Schouwenbank	530 230	5 738 448	37,0	GLLS	(8 965)
België					
Oostende	494 817	5 676 454	39,8	NAP	8 935
Zeebrugge	513 062	5 690 346	39,2	NAP	9 065
Oostdyckbank	461 550	5 680 750	37,0	GLLS	(9 065)

Tabel 4:
eigenschappen van de radars van de Schelderadarketen

- In de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken

In de eerste plaats hebben we onderzocht wat de schaduweffecten opleveren in de buurt van de verschillende parken en dan telkens vanuit de veronderstelling dat er slechts één radar tegelijkertijd werkt. Voor elke radar zijn de volgende twee figuren gemaakt: één voor het windturbinepark van C-Power en slechts één voor de windturbineparken van Seanergy (“parallellogram” aan de rechterkant) en Totalfina Eolia (twee evenwijdige rijen aan de linkerkant), gezien de veel geringere afstand tussen deze twee laatstgenoemde windturbineparken. In de onderstaande figuren wordt verondersteld dat de desbetreffende radar zich steeds in de oorsprong bevindt en aldus de aanduidingen op de assen (in meter) de afstanden tot deze radar zijn. We zullen eerst verschillende radars langsheen de kustlijn beschouwen vertrekkende vanuit Oostende en tot slot de twee nieuw te bouwen radars. Noteer dat voor alle windturbineparken voldaan is aan de fundamentele eisen die eerder vermeld werden.

Oostende

De grootste effecten verwachten we uiteraard bij het windturbinepark van C-Power. De windturbines van dit park zijn immers georiënteerd volgens radialen die vertrekken vanuit de radar van Oostende (en van Zeebrugge). We verwachten dus achter dit park 5 diepe schaduwlijnen. De breedte aan het einde van het bereik kan vrij eenvoudig berekend worden en wordt voornamelijk bepaald door de breedte van de windturbine en de afstand van de “eerste” turbine tot de radar.



Indien we een theoretisch bereik van 43,2 km (radargevoeligheid gelijk aan -134 dBW en een zendvermogen van 40 kW) voor de radar aannemen, is de breedte van de schaduwzone minstens gelijk aan (volgens het principe van gelijkvormige driehoeken) 5 m (diameter van de turbinetoren) $\times$ 43,2 km / 6,55 km (afstand radar-turbine) = 33m. Dit is op het eerste zicht groot, maar een container schip is nog enkele malen groter. Een mogelijk probleem treedt wel op wanneer zo'n containerschip in het verlengde van één van deze schaduwlijnen vaart. Merk op dat dit probleem overschat wordt aangezien de kromming van de aarde niet in rekening is gebracht. Voor een radarhoogte van 39,2 m kan men op Fig. 15 aflezen dat de horizon beperkt wordt tot 22,3 km. Uiteraard wordt een object door zowel het menselijk oog als door de radar eerder opgemerkt. Bij de eerder vermelde 22,3 km moet nog een extra component worden opgeteld die rekening houdt met de hoogte van het object (bvb. geeft een object met een hoogte van 10 m tot een uitbreiding van de "zichtbaarheid" van ca. 12 km).

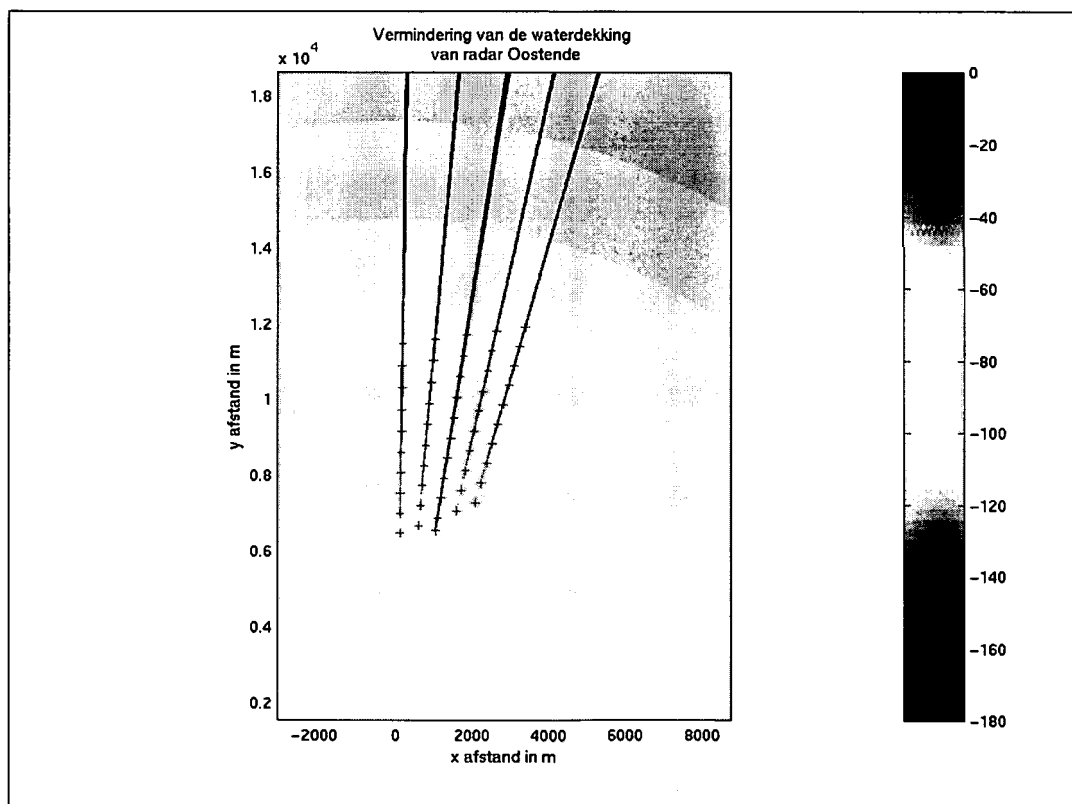


Fig. 14: signaalniveaus van de radar van Oostende rondom het windturbinepark van C-Power

In Fig. 16 tenslotte zijn de effecten van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy weergegeven. Hier zijn duidelijk meer schaduwings-effectstralen te zien, maar hun breedte aan het einde van het bereik zal kleiner zijn, door de grotere afstand tussen de radar en de dichtstbijzijnde windturbine van die straal.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Op enkele gevallen na liggen de windturbines in deze richting minder op één lijn dan het geval was voor het turbinepark van C-Power dat net op een dergelijke manier was ontworpen.

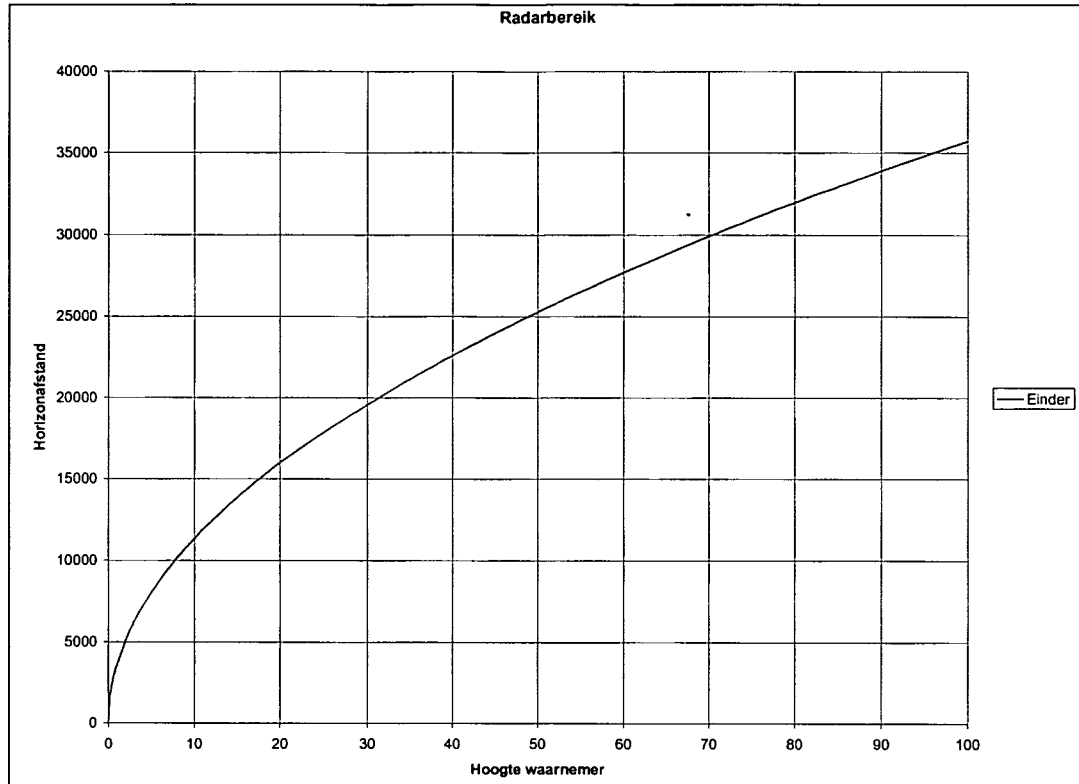


Fig. 15: horizonafstand in functie van de hoogte van de waarnemer/object

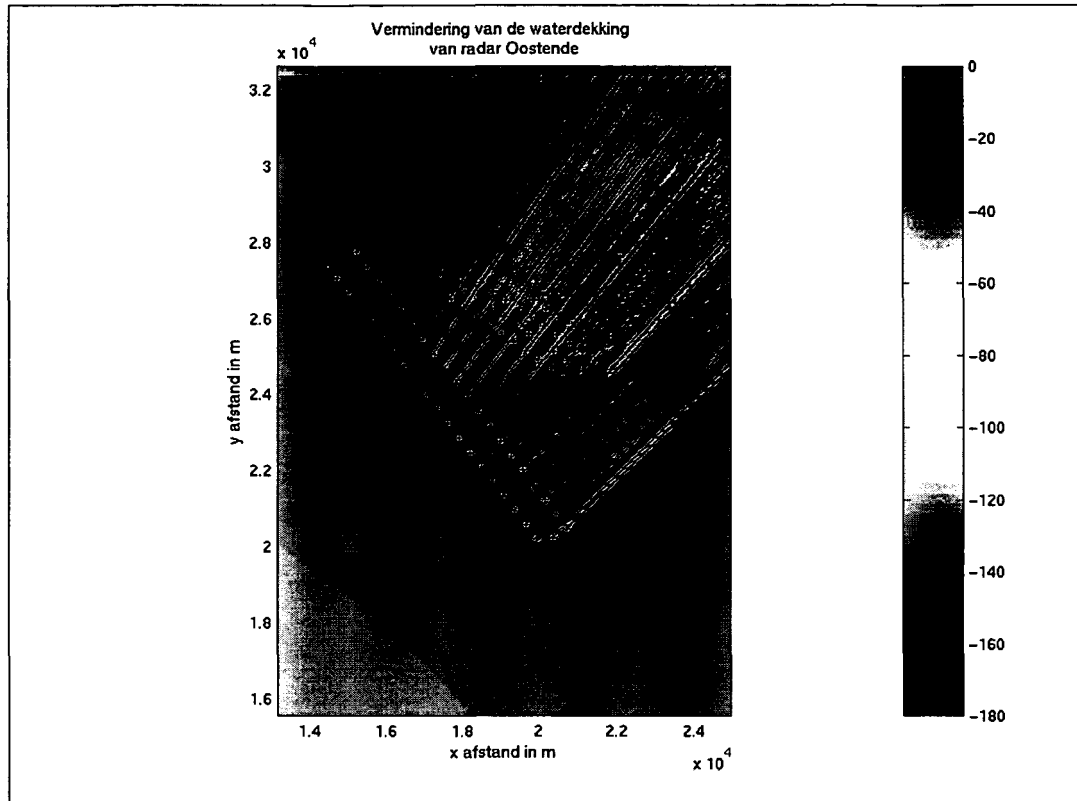


Fig. 16: signaalniveaus van de radar van Oostende in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

Zeebrugge

Voor het windturbinepark van C-Power kunnen we andermaal dezelfde bedenking maken als bij de radar van Oostende. Dit park werd ontworpen langsheen enkele radiale lijnen vanuit deze radar en dat geeft in dit geval aanleiding tot 10 diepe schaduwlijnen (

Fig. 17). Wat wel opvalt bij het bekijken van de andere twee windturbineparken (

Fig. 18) is het feit dat de twee transformatorcabines toevalligerwijs op een zelfde straal vanuit de radar gelegen zijn. Uiteraard zijn de effecten van dergelijke cabines iets groter vanwege de grotere afmetingen (vanuit de radar gezien in de orde van 15 m “doorsnede”). Als we weten dat de afstand van de transformatorcabine van Totalfina Eolia op een afstand van ongeveer 6,6 km ligt, geeft dit aan het einde van de bereik een straalbreedte van bijna 100m. Op Fig. 1 en in paragraaf 1.5 is gelukkig wel te zien/lezen dat er voldoende radars aanwezig zijn om dit probleem op te vangen (Cadzand, Vlissingen en Westkapelle).



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

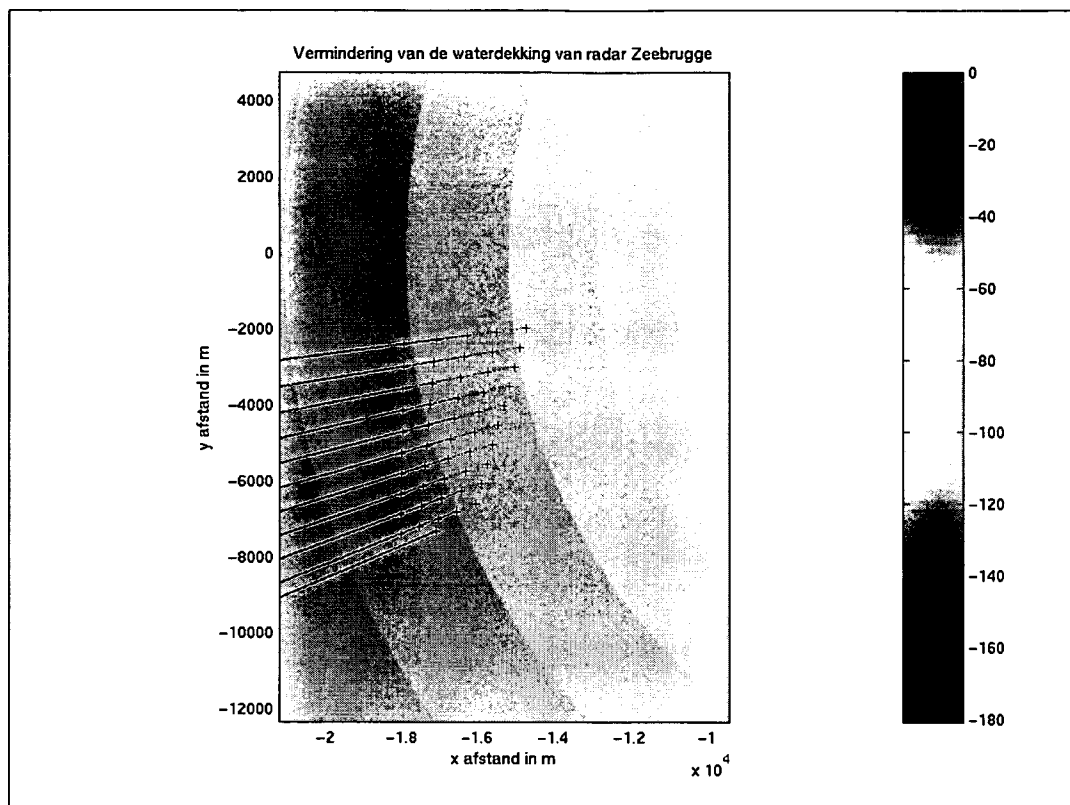


Fig. 17: signaalniveaus van de radar van Zeebrugge rondom het windturbinepark van C-Power



Cadzand

In de volgende twee figuren worden de signalen in de omgeving van de verschillende windturbineparken weergegeven. Bij het park van C-Power (Fig. 19) zijn er omwille van de grote afstand (ca. 32 km is voor een object met hoogte van 10 m zelfs al zeer dicht bij het einde van het bereik wanneer we rekening houden met de kromming van de aarde) geen echt grote problemen te verwachten. In Fig. 20 zien we dat vooral het windturbinepark van Seanergy mogelijk voor problemen gaat zorgen. Blijkbaar zijn de drie meest rechtse rijen zo geplaatst dat zij net niet volgens een radiaal liggen. Dit heeft tot gevolg dat er voor iedere windturbine van deze rij een extra "straal" bijkomt hetgeen in een zeer brede bundel aan het einde van het bereik resulteert.

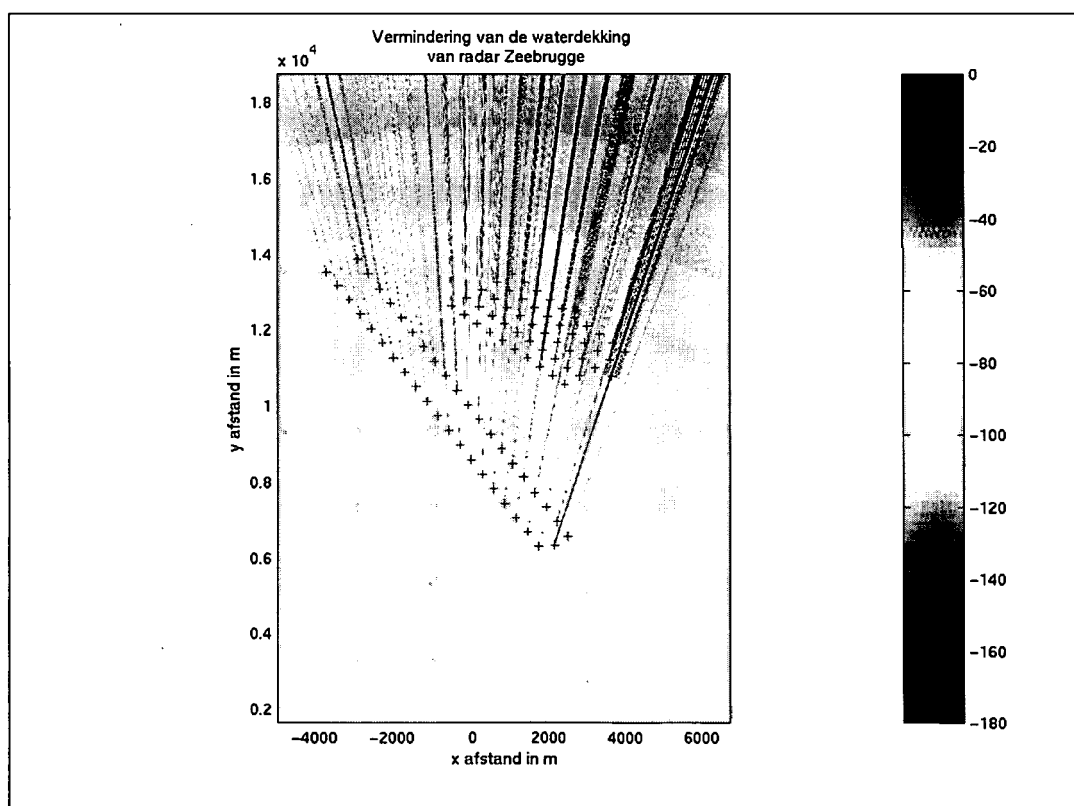


Fig. 18: signaalniveaus van de radar van Zeebrugge in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

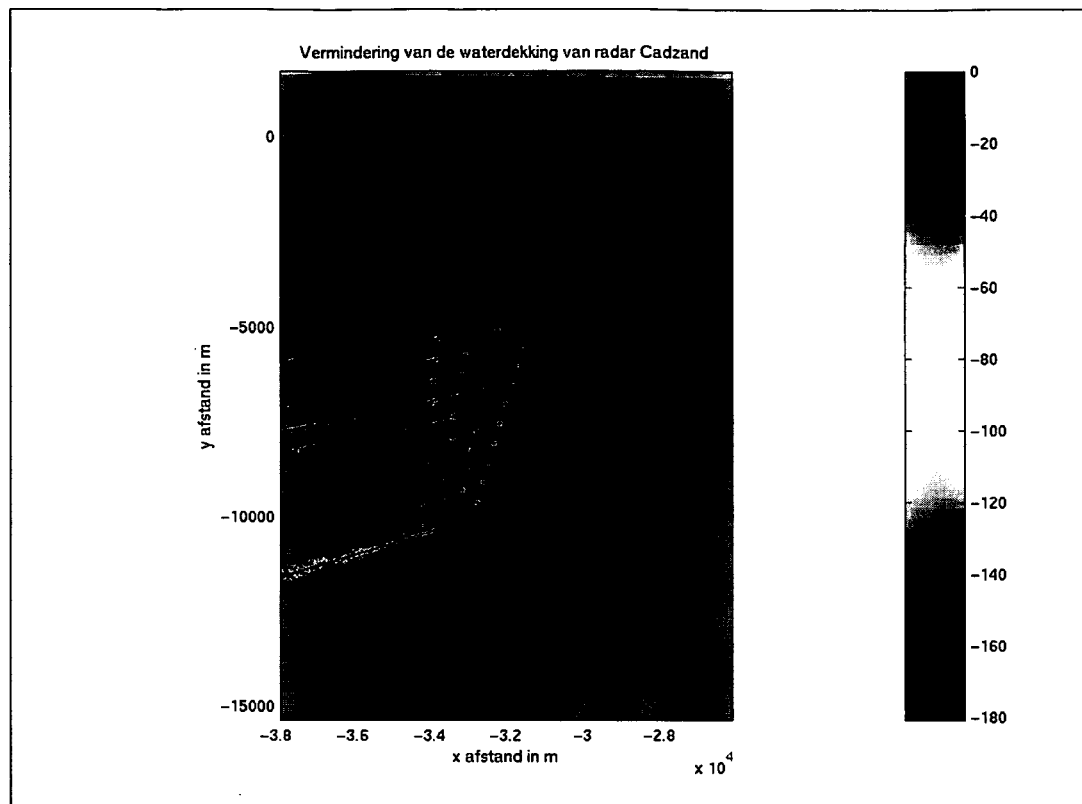


Fig. 19: signaalniveaus van de radar van Cadzand rondom het windturbinepark van C-Power

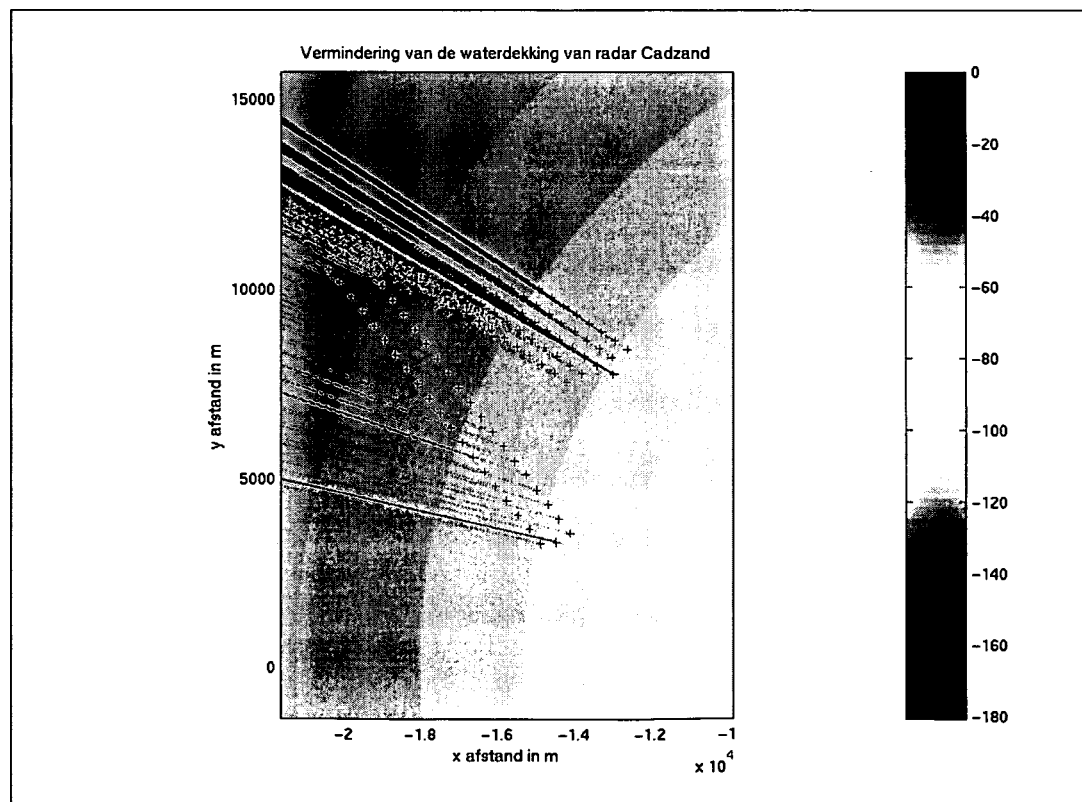


Fig. 20: signaalniveaus van de radar van Cadzand in de onmiddellijke omgeving van de
windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Vlissingen

Wat onmiddellijk opvalt bij

Fig. 21 is dat bijna het volledige windturbinepark van C-Power buiten het bereik (zelfs buiten het theoretische bereik) van de radar van Vlissingen ligt. Voor Fig. 22 (onderaan park van Seanergy) geldt dezelfde opmerking als hierboven gemaakt is voor de radar van Cadzand, zij het dat het effect hier kleiner zal zijn. Vooreerst zijn het aantal obstakels per rij gezien vanuit Vlissingen maximaal gelijk aan 5 (straal doorheen de transformatorcabine) waar dat bij de radar van Cadzand nog 10 turbines en 1 radar (dus 11 obstakels) konden zijn. Tot slot is de afstand hier ook groter (bijna twee keer zo groot), zodat de breedte van de straal aan het einde van het bereik kleiner zal zijn.

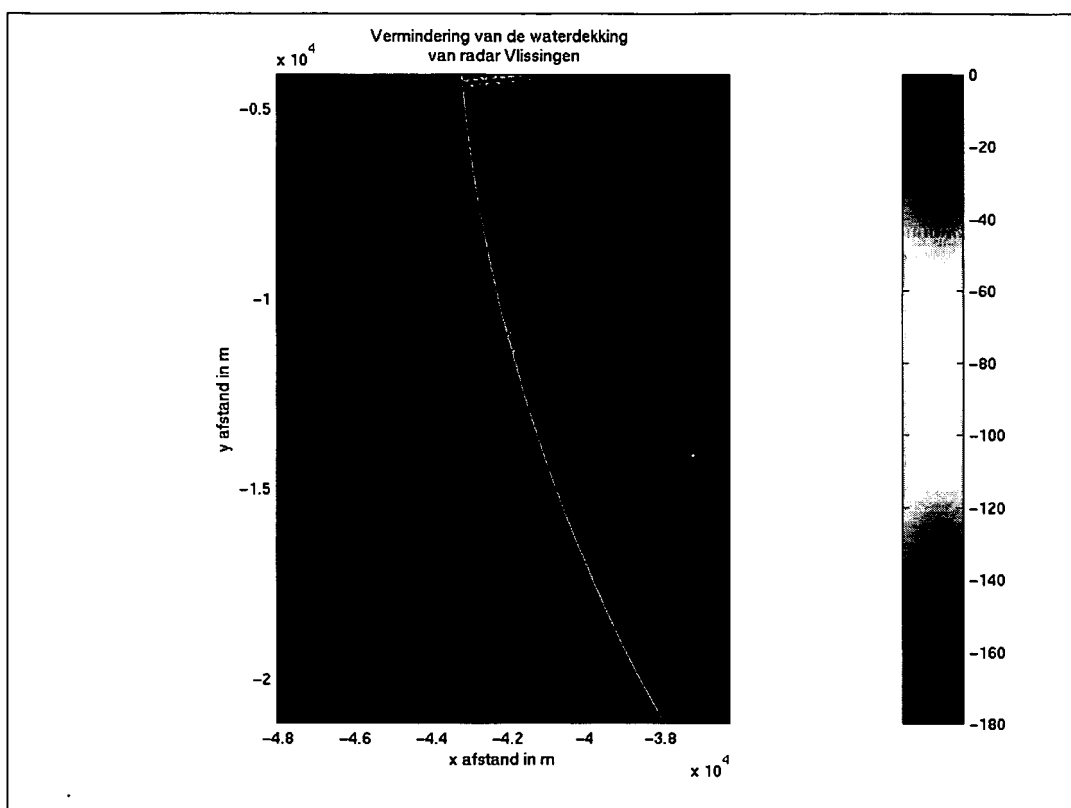


Fig. 21: signaalniveaus van de radar van Vlissingen rondom het windturbinepark van C-Power

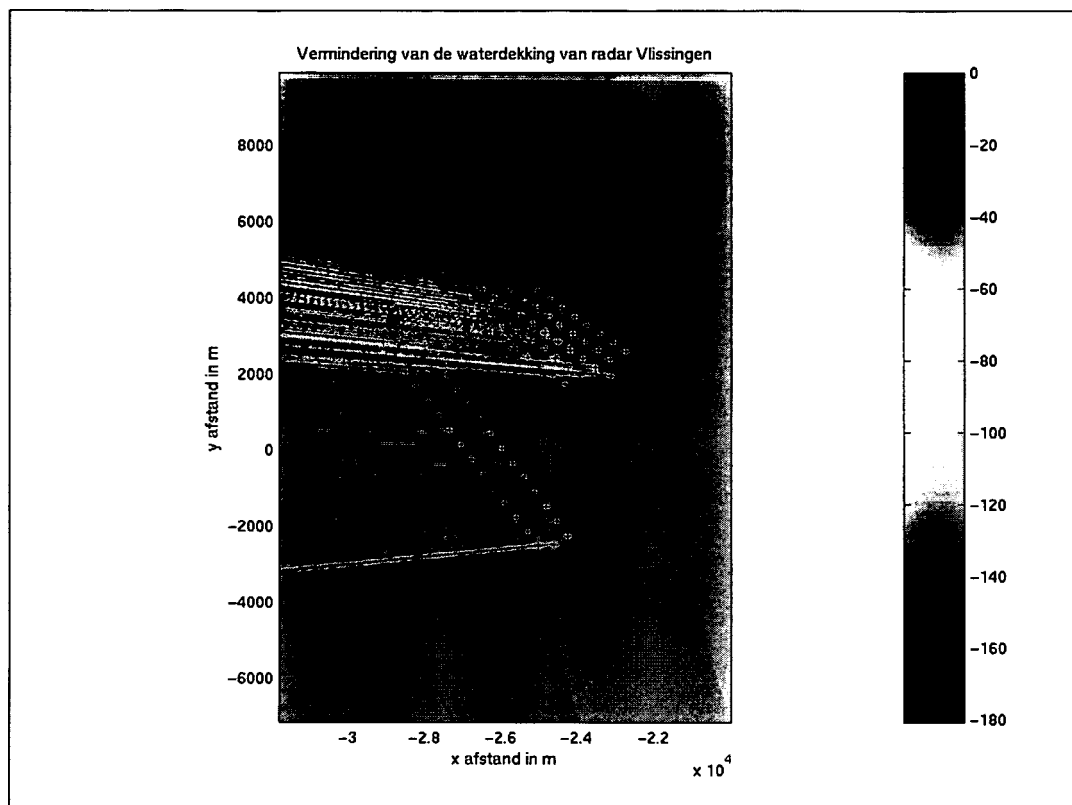


Fig. 22: signaalniveaus van de radar van Vlissingen in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

Westkapelle

Andermaal ligt het windturbinepark van C-Power aan het einde van het bereik van de beschouwde radar (Fig. 23). Noteer dat de figuren op basis van het theoretisch bereik zijn gemaakt en dat er in dat geval dus nog wel degelijk sprake is van signaalontvangst in de radar vanuit de zone van het park. Wat in deze figuur op het eerste zicht op rommel mag lijken of een fout in het programma, zijn de schaduwlijnen van de twee andere windturbineparken. De donkere strepen aan de bovenzijde zijn voornamelijk afkomstig van voornamelijk de onderste drie rijen en de transformatorcabine van het windturbinepark van Seanergy (cfr. de lijnen die ongeveer halverwege de figuur toekomen en die afkomstig zijn van de onderste turbines van het turbinepark van Totalfina Eolia zijn veel dunner). De brede streep aan de onderzijde van deze figuur is afkomstig van de brede transformatorcabine van het windturbinepark van Totalfina Eolia. Beide hoger vermelde fenomenen zijn uiteraard ook zichtbaar op de figuur die de signalen in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy weergeeft (Fig. 24).



Oostdyckbank

Wanneer we het blauw in Fig. 24 (parken van Totalfina Eolia en Seanergy, gezien vanuit de radar van Westkapelle) vergelijken met dat in Fig. 25 (park van C-Power gezien vanuit de radar van Oostdyckbank), valt het al onmiddellijk op dat dit een fractie donkerder is, wat wil zeggen verder weg in het radarbereik. Voor het windturbinepark van C-Power zouden we nog kunnen zeggen dat het in het bereik ligt van de radar (schip moet minstens een tiental meter boven het wateroppervlak uitsteken), maar voor het geval van de andere twee windturbineparken, waar de afstand tussen de radar en het "middelpunt" van beide parken ongeveer 55 km bedraagt, is het al helemaal hopeloos (Fig. 26)..

Schouwenbank

Net als bij de radar van Oostdyckbank vallen alle windturbineparken zo goed als volledig, resp. volledig buiten het bereik van deze radar. REFMERGEFORMAT Gezien de noordelijke positie van de radar van Schouwenbank (voor de inham naar Rotterdam, terwijl Oostdyckbank voor de Belgische kust is gelegen en dan nog een heel pak meer naar het westen dan Oostende), is het nu het windturbinepark van C-Power dat volledig buiten het bereik van de beschouwde radar ligt (Fig. 27), terwijl het park van Seanergy resp. Totalfina Eolia nog volledig resp. gedeeltelijk in het theoretische bereik van de radar liggen (Fig. 28). Om in die zone ook daadwerkelijk nog een schip te kunnen waarnemen, is het noodzakelijk dat het voldoende hoog boven het water uitsteekt.

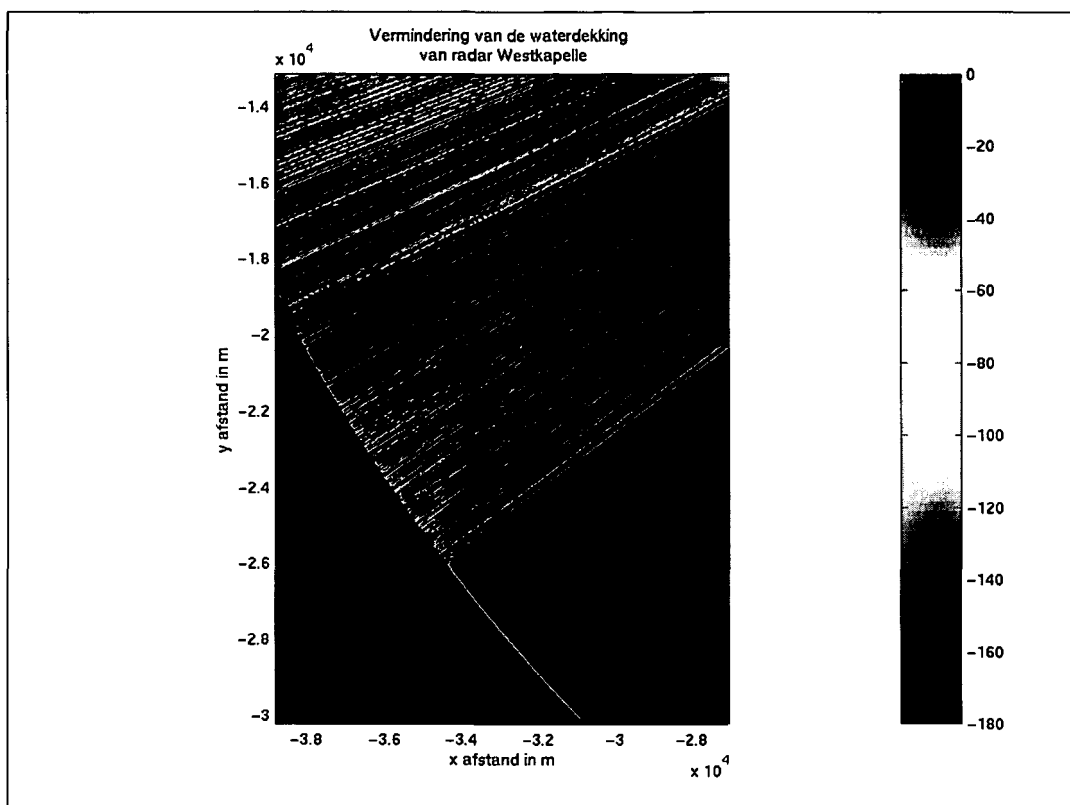


Fig. 23: signaalniveaus van de radar van Westkapelle rondom het windturbinepark van C-Power

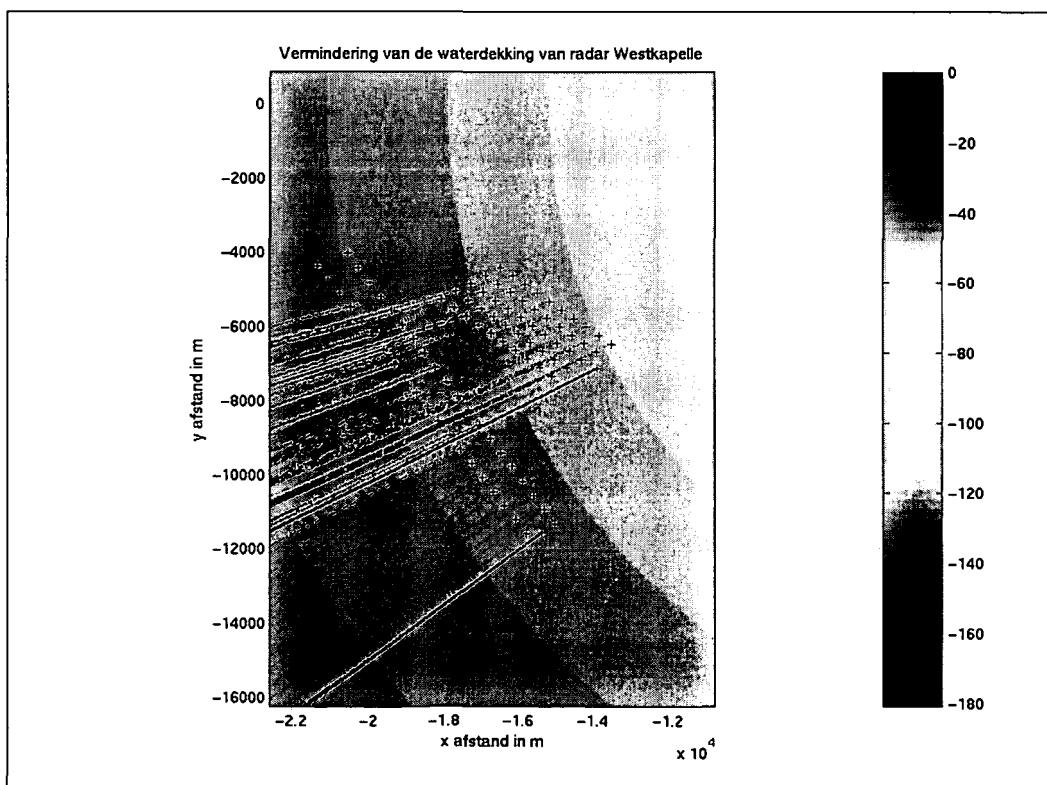


Fig. 24: signaalniveaus van de radar van Westkapelle in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

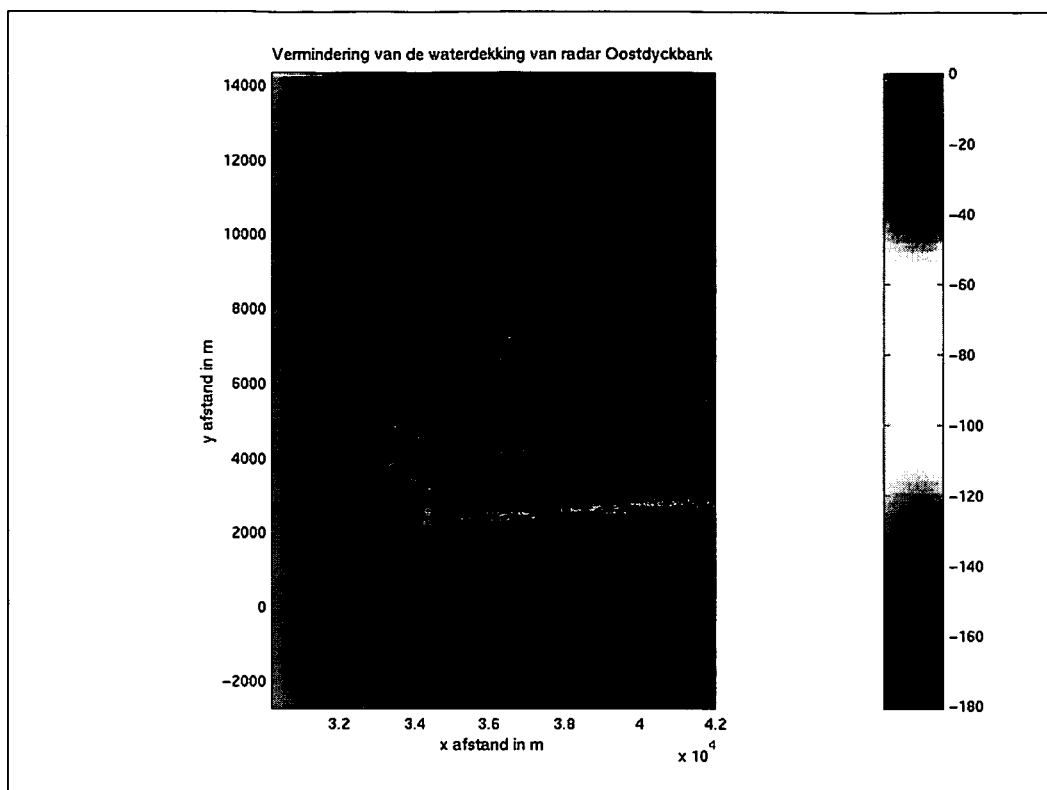


Fig. 25: signaalniveaus van de radar van Oostdyckbank rondom het windturbinepark van C-Power

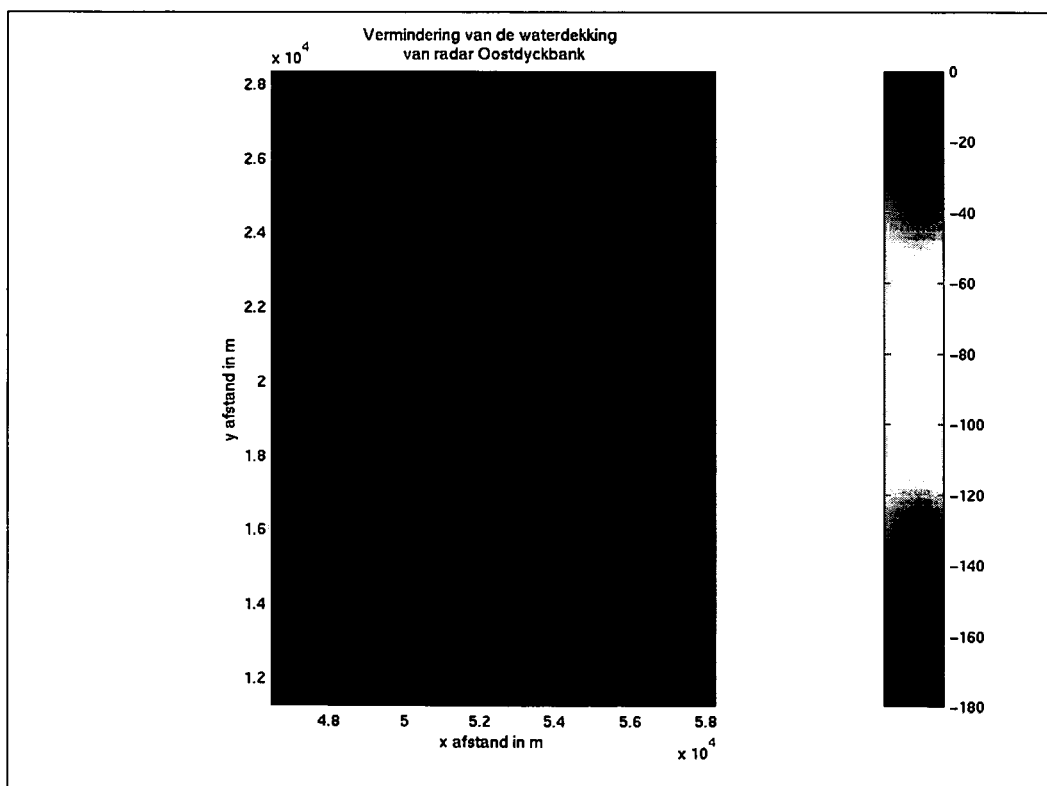


Fig. 26: signaalniveaus van de radar van Oostdyckbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

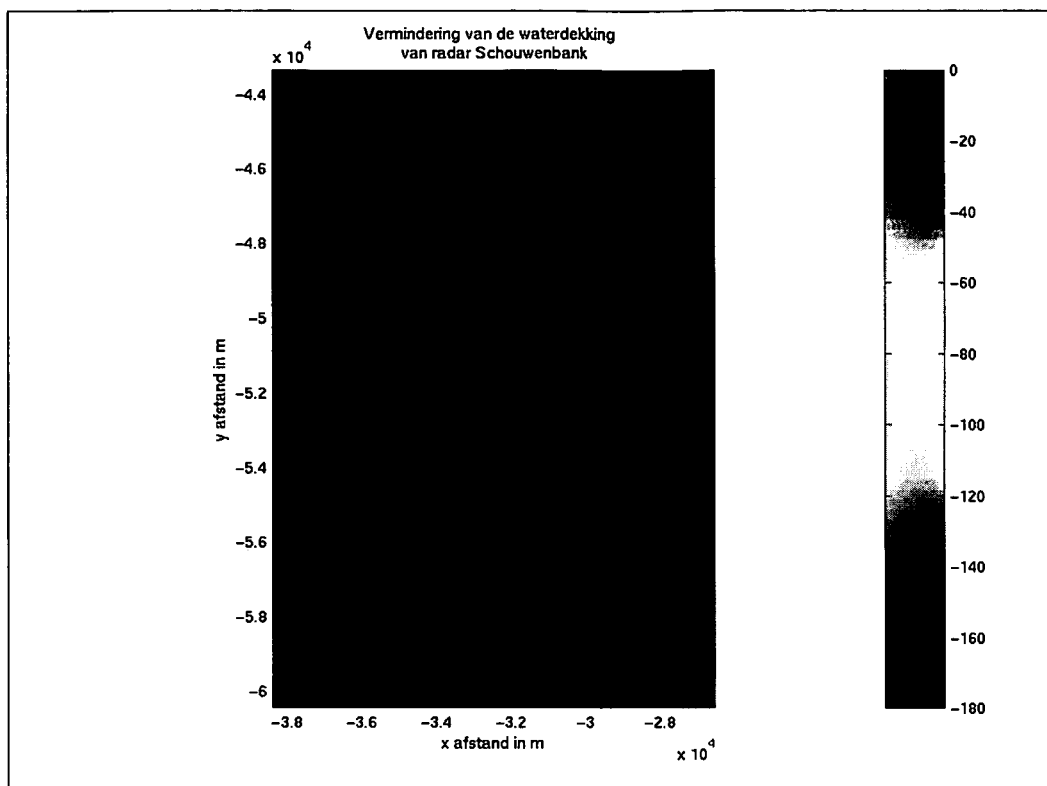


Fig. 27: signaalniveaus van de radar van Schouwenbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbinepark van C-Power

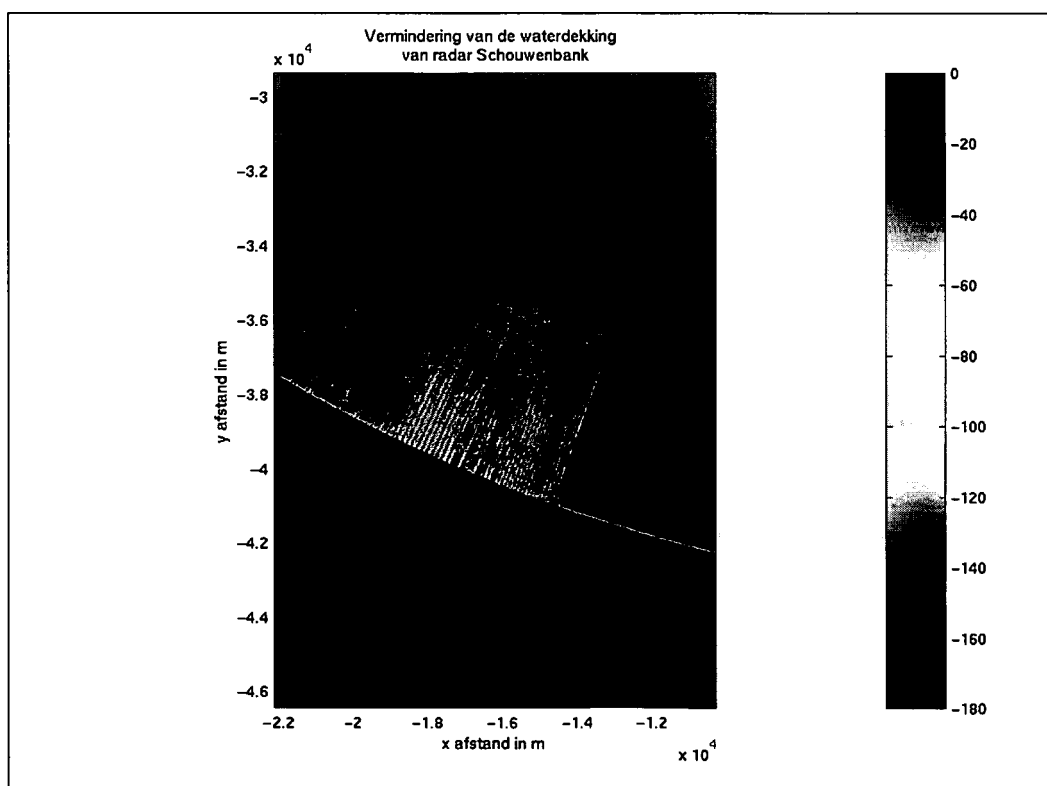


Fig. 28: signaalniveaus van de radar van Schouwenbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



- De vermindering van de waterdekking voor elke radar afzonderlijk

De procentuele vermindering van de waterdekking is een maat om het effect van de windturbineparken te beschrijven (zie ook uitleg bij Fig. 7 en Fig. 8). Het geeft aan hoeveel percent van het wateroppervlak dat door de desbetreffende radar wordt gedekt zich onder het ontvangstniveau bevindt (punten buiten het bereik worden dus in deze berekeningen NIET meegerekend).

Tabel 5 werd in eerste instantie berekend als stonden de verschillende radars in het midden van een wateroppervlak met een straal gelijk aan het theoretisch bereik. Uiteraard is dit niet echt juist; voor het merendeel van de radars is er toch een behoorlijk deel van dit oppervlak land en is de Schelderadarketen niet geïnteresseerd in het percentage land dat niet gedekt wordt. Voor elke radar moet dus bepaald worden welk percentage water er daadwerkelijk aanwezig is in deze cirkel van het theoretisch radarbereik (tweede kolom) zodat het bekomen percentage (derde kolom) vermenigvuldigd dient te worden met het omgekeerde (derde kolom) van dit percentage land. Zo bekomen we uiteindelijk het effectieve percentage van de vermindering van de waterdekking voor de beschouwde radar (laatste kolom). Om een goede schatting te bekomen hebben we voor deze simulaties een resolutie genomen van 1m. Hiermee willen we vermijden dat we bij een groter resolutie over een “dunne” schaduwlijn “stappen” en aldus die schaduwlijn niet in rekening zouden brengen.

De resultaten voor Zeebrugge (18,04 %) en Cadzand (11,41 %) lijken in eerste instantie vrij dramatisch maar in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk zal blijken dat dit minder erg is dan het lijkt.

Locatie	Percentage water [%]	Vermindering WATERdekking [%]	Factor	Effectieve vermindering [%]
Nederland				
Westkapelle	45	3.54	2,20	7,79
Vlissingen	22	1.89	4,60	8,69
Cadzand	37	4.15	2,75	11,41
Schouwenbank	80	0.24	1,25	0,30
België				
Oostende	50	3.27	2,00	6,54
Zeebrugge	46,5	8.39	2,15	18,04
Oostdyckbank	80	0.44	1,25	0,55

Tabel 5:
percentuele vermindering van de waterdekking voor de verschillende radars afzonderlijk



1.2 RADARDOORSNEDE VAN REFLECTERENDE TURBINEOPPERVLAKKEN

Uit verschillende studies in binnen- en buitenland [ref. CAA, BBC-1 en BBC-2] is gebleken dat de effectieve radardwarsdoorsnede van een windturbine kleiner is dan de werkelijke afmetingen (in de orde van 80 bij 5 m). De fysische afmetingen zijn tevens dikwijls kleiner dan die van grote schepen (orde van enkele tientallen m²). De windturbines zullen daarom zichtbaar zijn op de radar, maar de ontvangststerkte minder in verzadiging sturen dan een groot containerschip wiens as boeg-achtersteven loodrecht staat op de verbindinglijn tussen radar en schip.

Metingen in Nederland (Medemblik) vermelden een waarde van 40 m² voor een tweebladige machine [ref. MEDE]. Ook in Engeland werden recentelijk nog gelijkaardige metingen uitgevoerd, die bevestigen dat de radardwarsdoorsnede steeds kleiner is dan de fysische doorsnede ([ref. CAA] heeft het over een vermindering van ca. 10%, [ref BBC-2] spreekt over 33 m²].

1.3 OPTREDEN VAN VALSE ECHO'S

Zoals reeds vermeld in de inleiding kunnen deze optreden in verschillende omstandigheden.

1.3.1 Windturbine - schip

De eerste mogelijkheid bestaat erin dat de radargolf reflecteert op een windturbine, een nabijgelegen groot schip tegenkomt, en uiteindelijk terug via de windturbine (of via een zijlob van de radarantenne) de radar bereikt (Fig. 29).

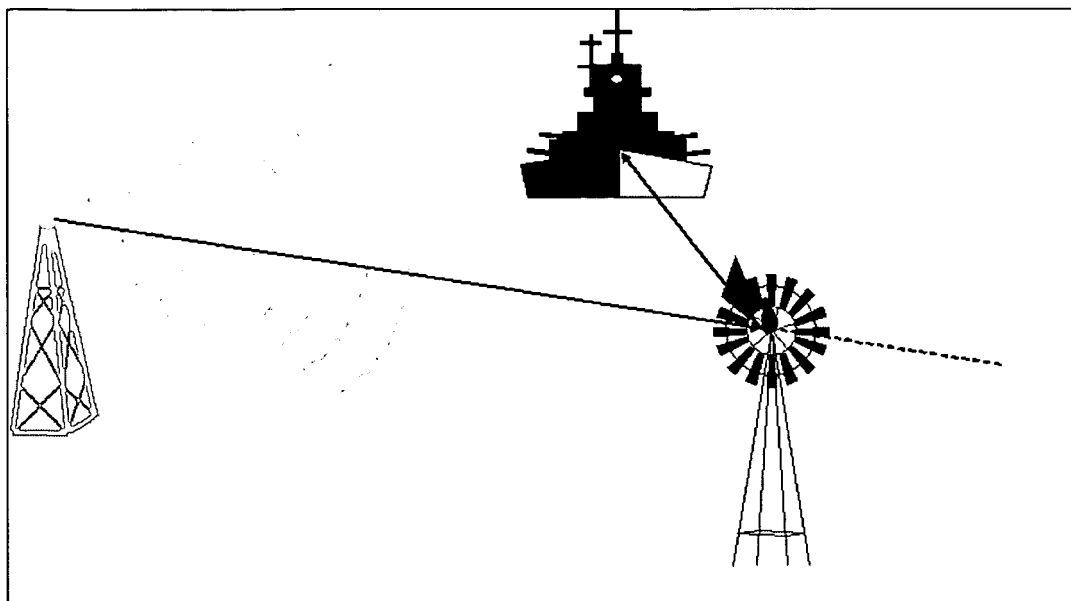


Fig. 29: reflectie windturbine-schip-windturbine

Dit soort valse echo's kan veroorzaakt worden door schepen die zich bevinden binnen een cirkel van enkele km rond de windturbine in kwestie. Deze echo's worden wel verzwakt door de reflectie op de windturbine. Vandaar dat enkel de onmiddellijke omgeving van de windturbines daar last van ondervindt. De formule, die toelaat deze afstand te schatten wordt gegeven door (niet het geval van ontvangst via een zijlob):

$$R_{2\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_T^2 \lambda^2 \sigma_{BW}^2 \sigma_{MS}}{P_0 (4\pi)^5 R_W^4}}$$

Hierbij is P_T het uitgezonden piekvermogen in de puls, G_T de winst van de radarantenne, λ de golflengte in de vrije ruimte, P_0 het minimaal detecteerbaar vermogen, R_W de afstand van de windturbine in kwestie tot de radar, $R_{2\max}$ de maximale afstand van de windturbine tot het schip dat valse echo's kan veroorzaken, σ_{BW} de bistatische radardwarsdoorsnede van de windturbine en σ_{MS} de monostatische radardwarsdoorsnede van het schip.

Veronderstellen we dat een schip een rechtlijnige koers vaart naar de radar toe vanuit het ultieme bereik van de radar. Een valse echo te wijten aan een windturbine begint op te treden van zodra het schip de turbine voldoende dicht genaderd is. In wat volgt zal aangetoond worden dat deze kritische afstandsgrens bij benadering bepaald wordt door een ellips rond de turbine. De echo, op de PPI indicator van de radar te zien als een stip op de denkbeeldige lijn radar(centrum)-windturbine, beweegt eerst mee met het schip met ongeveer dezelfde snelheid, tot wanneer het schip het dichtst bij de windturbine gelegen is (voetpunt van de loodlijn neergelaten uit het middelpunt van de turbinetoren op de koerslijn).



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Vanaf dat ogenblik verwijderd de valse echo zich terug van de radar volgens dezelfde als radar-windturbine. Door het omhoogschroeven van het detectieniveau kan men het gebied waarin deze echo's optreden beperken. Dit vermindert uiteraard wel het bereik van de radar. Voor kleinere schepen zal het effect ook beperkter zijn.

Voor een geval, waarbij de as radar-windturbine ongeveer evenwijdig loopt met de koers van het schip, en voor een radardwarsdoorsnede (zowel monostatische als bistatische) van 2000 m^2 voor het schip en 40 m^2 voor de windturbine van het grote type (slechtste gevallen; $f=9,065 \text{ GHz}$, $P=40 \text{ kW}$), worden zowel de relatieve verhoudingen van de echo's als hun absolute waarde in dBW (dikke gele lijn) weergegeven op Fig. 30 (curven "via windturbine"). Hier stellen we vast dat deze effecten zich voordoen in cirkels met een straal van een 150 m rond de windturbines (de eerste windturbine zelf (E10) bevindt zich op 6537 m van de radar). Inderdaad geeft een schip, dat op 150 m van een windturbine vaart op een lijn evenwijdig met de lijn radar-windturbine, juist geen aanleiding tot valse echo's. Deze cirkels worden kleiner en kleiner, naarmate de windturbine verder en verder van de radar gelegen is (zie Fig. 33 EVV.).

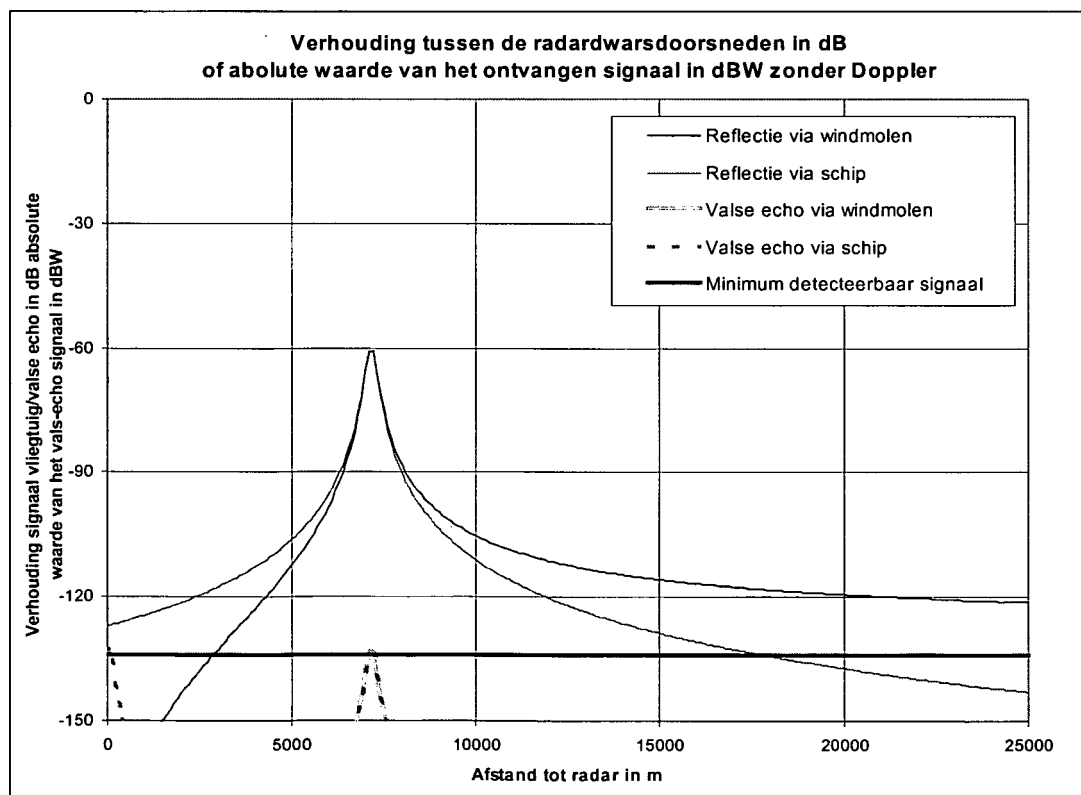


Fig. 30: posities op de vaarroute waar valse echo's kunnen optreden

1.3.2 Schip – windturbine

Ook sporadische reflecties in achterwaartse richting (door reflectie tegen een schip, de windturbine, en terug via datzelfde schip naar de radar kan een groot schip tijdelijk valse echo's doen ontstaan -

Fig. 31) zijn mogelijk. Als het schip zich in de in de vorig paragraaf beschreven route bevindt, zullen deze echo's zich op de lijn vaartuig-radar bevinden.

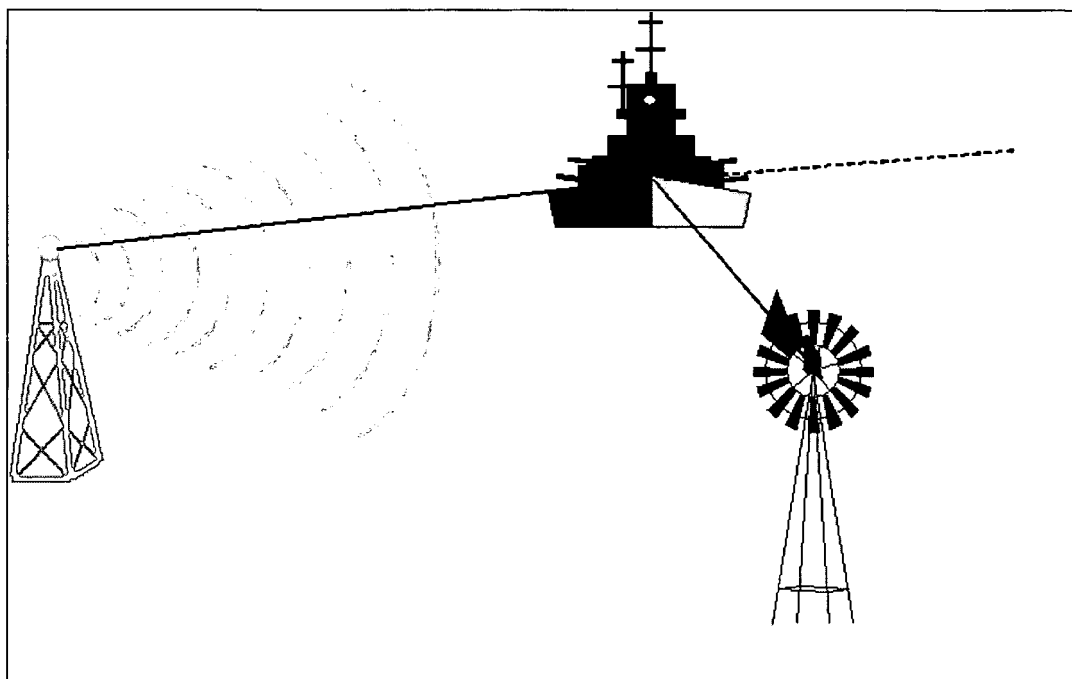


Fig. 31: reflectie schip-windturbine-schip

Deze effecten / echo's treden op ongeveer dezelfde plaatsen op als in het vorige geval (zie dunne paarse en dikke blauwe lijn op Fig. 30) (curven "via schip"), tenzij dicht bij de radar, waar het schip zelf als reflector fungeert (zie

Fig. 33 uit een voorgaande studie; in de huidige studie is dit effect ook aanwezig, maar valt het buiten het bereik van de figuur). Dit laatste echotype wordt dikwijls waargenomen in Zeebrugge als schepen in- en uitvaren (juist naast de radar). Het grote "probleem" met dergelijke reflecties is dat het spookbeeld op dezelfde lijn (en in dezelfde richting) beweegt als het schip maar met een snelheid die twee keer de snelheid van het schip bedraagt. Voor het niet geoefend oog of in de luchtvaart, zeker met de huidige toestanden aldaar en waar de snelheden trouwens veel hoger liggen en dergelijke fenomenen ook optreden, is dit een beangstigend beeld. Dit fenomeen verdwijnt andermaal wanneer het schip de windturbine gepasseerd is; vanop dat ogenblik blijft de valse echo staan. Ook hier kan men de uitdrukking voor de maximale afstand tot de radar vinden.



Deze luidt:

$$R_{lmax} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_T^2 \lambda^2 \sigma_{BS}^2 \sigma_{MW}}{P_0 (4\pi)^5 R_{WS}^4}}$$

De definities van de symbolen zijn dezelfde als diegene, die gebruikt werden in de vorige formule, met als verschil dat R_{WS} de afstand van de windturbine in kwestie tot het schip is, R_{lmax} de maximale afstand van de radar tot het schip dat valse echo's kan veroorzaken, σ_{BS} de bistatische radardwarsdoorsnede van het schip en σ_{MS} de monostatische radardwarsdoorsnede van de windturbine. Noteer dus dat bij een beeld waarbij ook de positie van de radar zichtbaar is er ook een cirkel rond de desbetreffende radar aanwezig zal zijn (zie Fig. 33).

Noteer eveneens dat beide soorten valse echo's optreden onafhankelijk van het feit of de turbines als dan niet draaien, dus ook als de turbines volledig stilstaan. Beide verschijnselen kunnen slechts vermeden worden door de mast een veelhoekige vorm te geven, door deze te bekleden met absorberend materiaal (zeer duur) of door of de mast uit composietmateriaal te maken, dat radargolven niet reflecteren maar absorberen of doorlaten.

Een voorbeeld van valse echo's van dit type (in de rode cirkels op Fig. 32) werd door prof. E. Van Lil vastgelegd in de radarcentrale van Zeebrugge (dd. 28/01/2002).

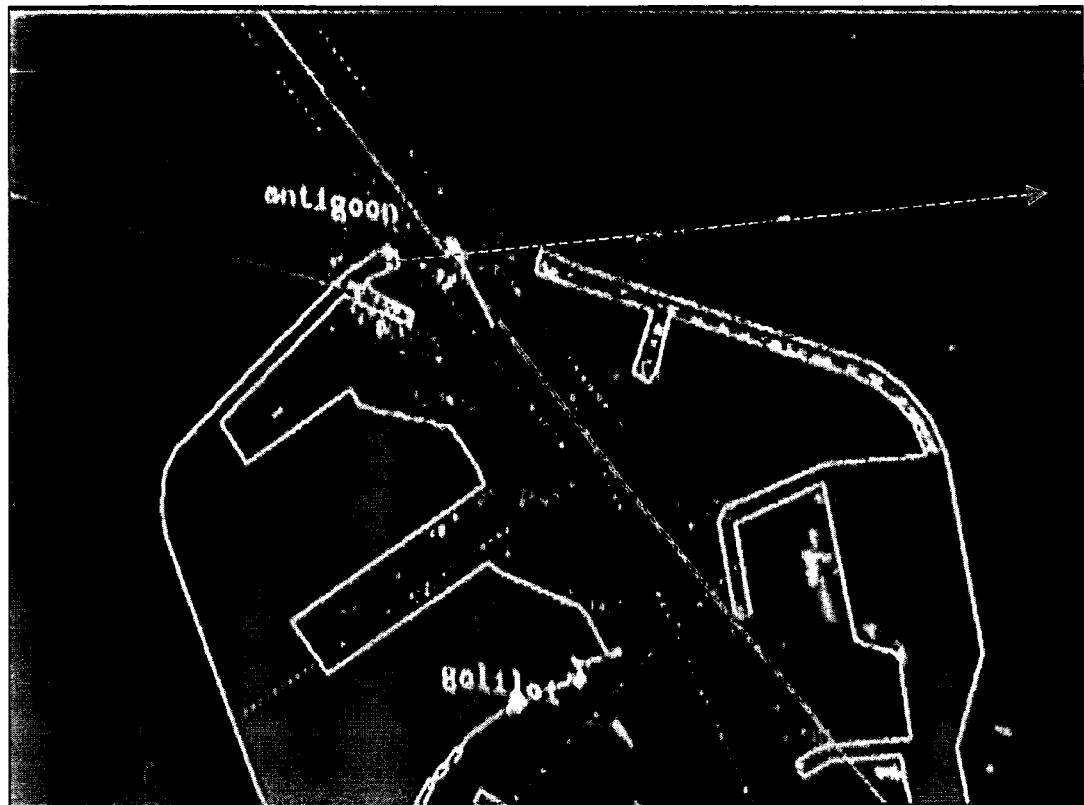


Fig. 32: opname van een valse echo in de radarcentrale van Zeebrugge (dd. 28/01/2002)



In onderstaande figuren worden beide types van dubbele reflectie tegelijkertijd beschouwd en wordt telkens de grootst mogelijke cirkel rond de verschillende windturbines (i.e. het gebied waar de dubbele reflecties kunnen optreden) getekend. Gezien de afstand tot de radar in beide formules hetzij rechtstreeks hetzij onrechtstreeks aanwezig is, is dit fenomeen het grootst voor de meest nabij gelegen radar. Tevens werd voor de windturbines het slechtst mogelijk geval bekeken, i.e. een radardwarsdoorsnede van 400 m^2 (afmetingen $80 \times 5 \text{ m}$), terwijl deze waarde in werkelijkheid lager zal liggen.

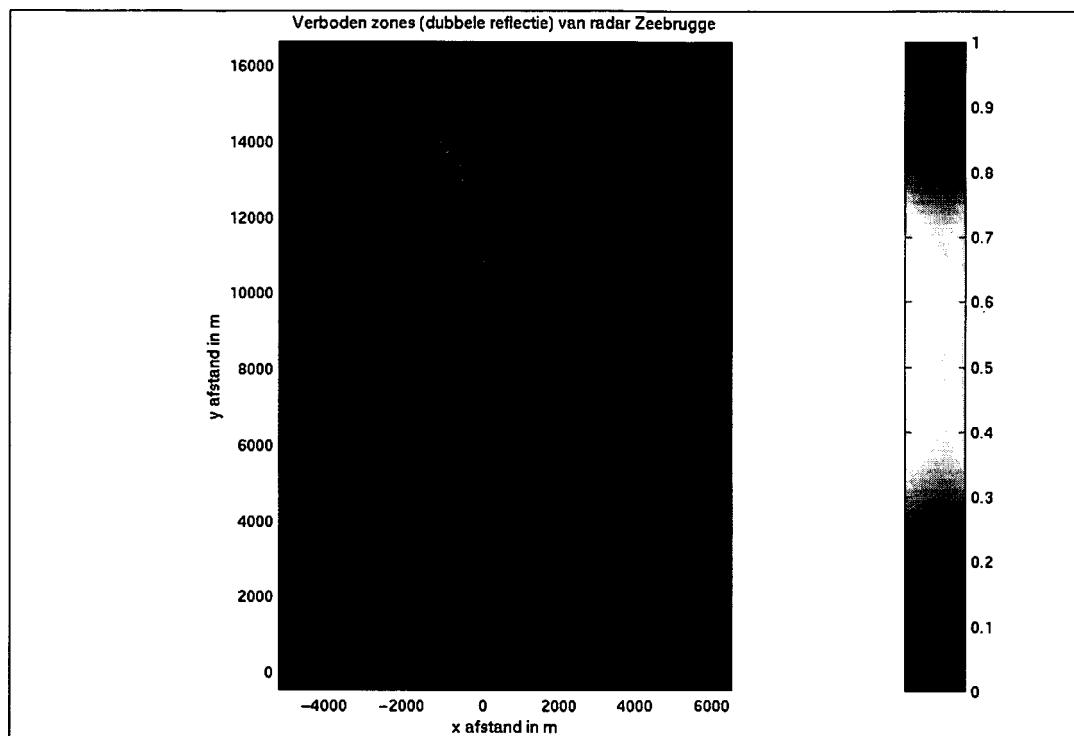


Fig. 33: voorbeeld van “verboden zone” rond de radar van Zeebrugge (uit het rapport van de afzonderlijke studie voor het windturbinepark van Totalfina Eolia)



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

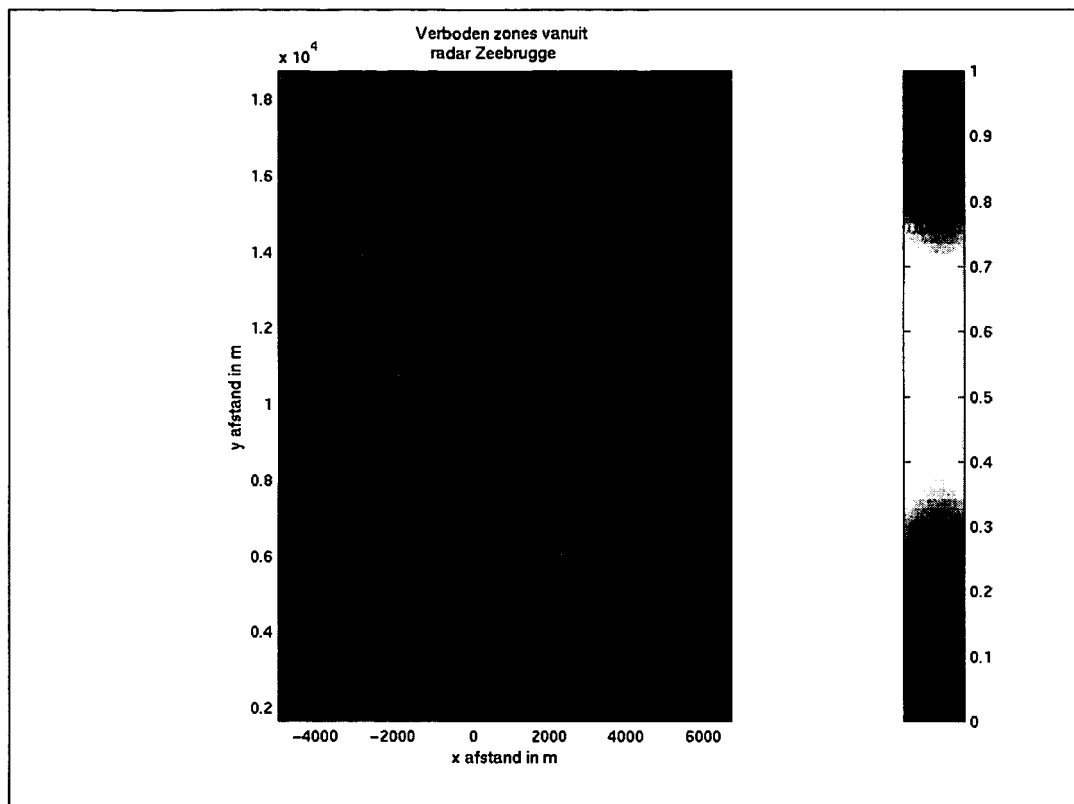


Fig. 34: “verboden” zones rond de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy, gezien vanuit de radar van Zeebrugge

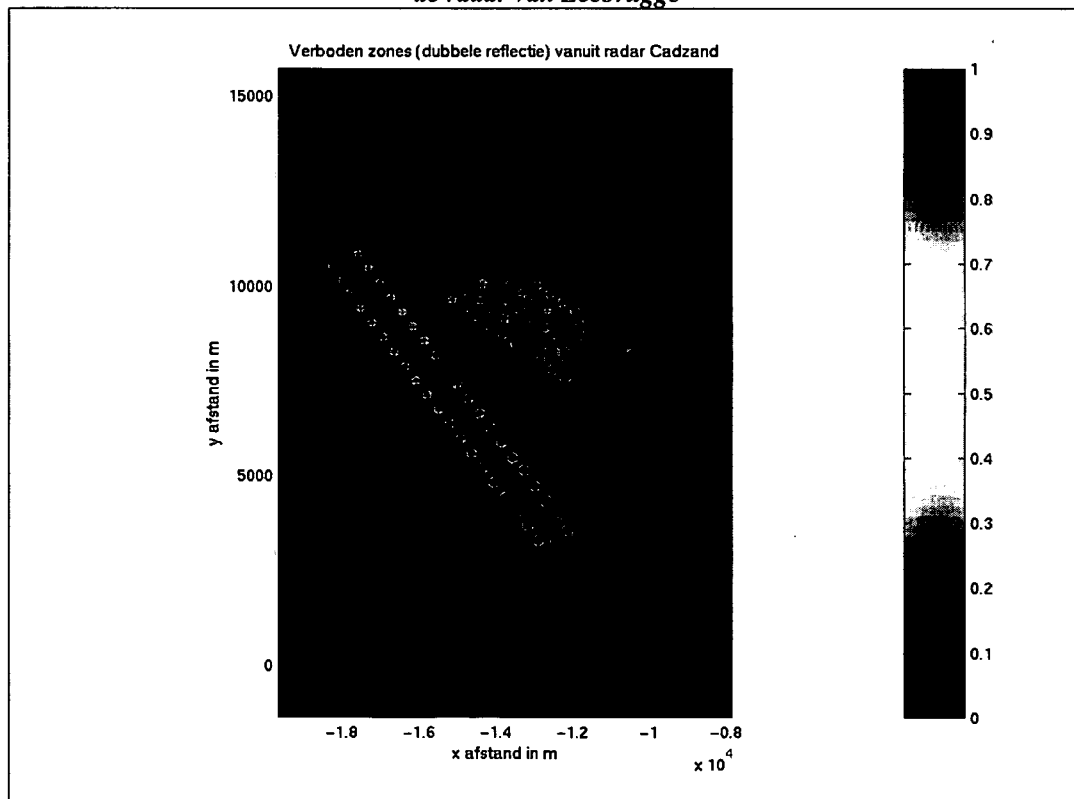


Fig. 35: “verboden” zones rond de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy, gezien vanuit de radar van Cadzand (tweede radar in afstand voor deze windturbineparken)



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

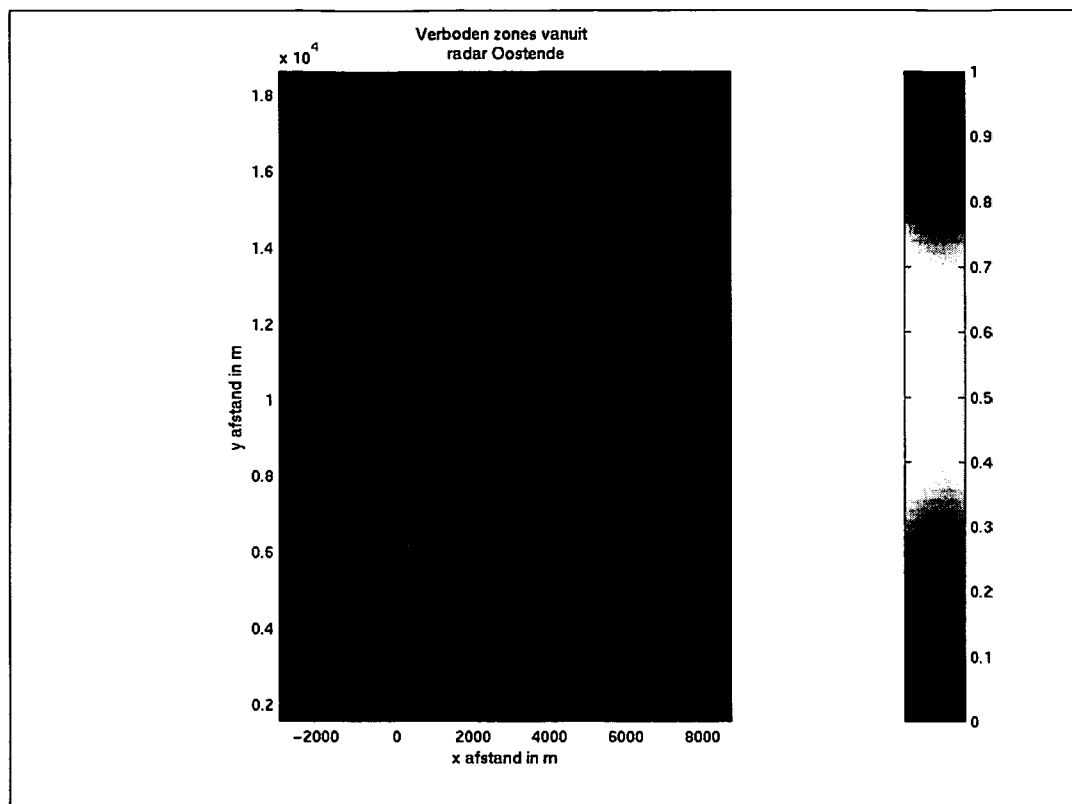


Fig. 36: "verboden" zones rond het windturbinepark van C-Power vanuit de radar van Oostende

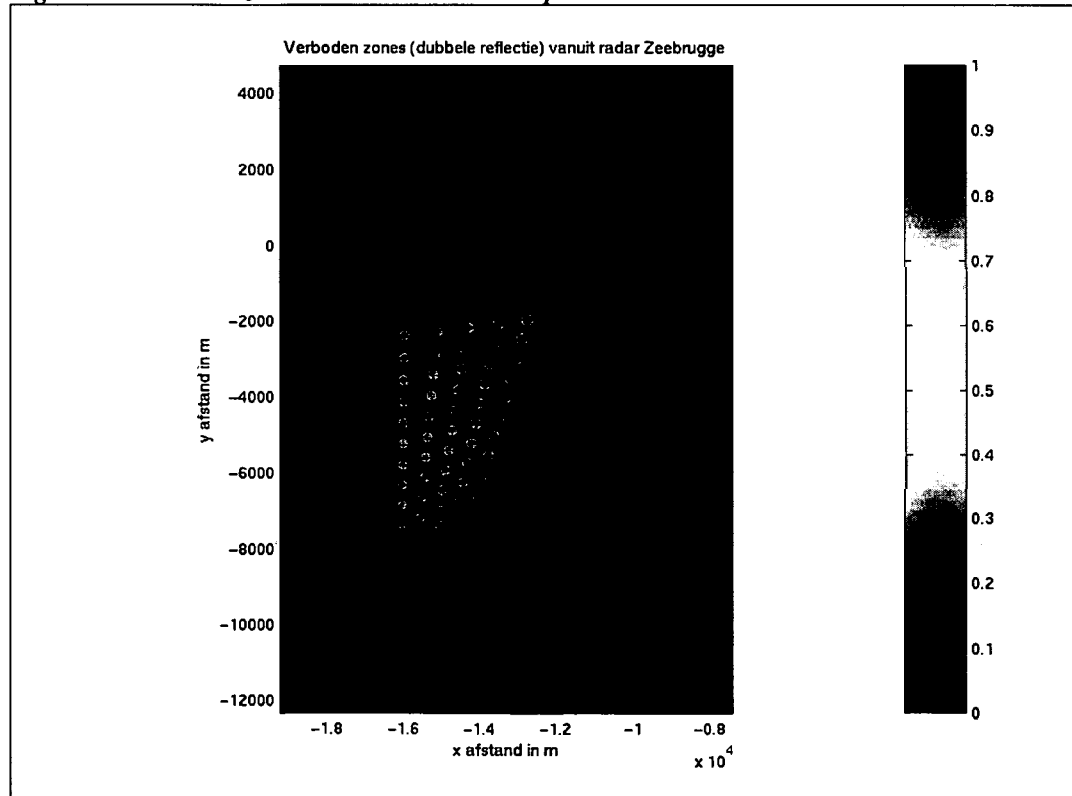


Fig. 37: "verboden" zones rond het windturbinepark van C-Power vanuit de radar van Zeebrugge
(tweede radar in afstand voor het windturbinepark van C-Power)



1.3.3 Detailstudie van de transformatorcabines

Andermaal zijn het de transformatorcabines die de grootste effecten veroorzaken. Zij zijn immers wat betreft de doorsnede veruit de grootste en bevinden zich meestal het dichtst bij land, voornamelijk vanwege de hoge kostprijs van de hoogspanningskabel die het vermogen naar het land moet brengen. Vooral het laatste feit van de kleinste afstand is enorm belangrijk in de studie van de “verboden” zones rond deze cabines.

Totalfina Eolia

Voor zover de exacte positie ons bekend is zou men er bij de bouw van deze twee rijen windturbines van uit gaan dat de transformatorcabine centraal aan de “voorkant” van de twee rijen zou komen te liggen. Ook over de afmetingen zijn de verschillende firma's niet erg duidelijk geweest. Voor Totalfina Eolia zou de transformatorcabine op een 15 m hoog platform geplaatst worden en zouden de afmetingen 20 bij 14 bij 9 m bedragen (langste zijde in de richting van de windturbinerijen). Een volgende onduidelijkheid vanwege Totalfina Eolia is het feit dat zij nog niet weten hoeveel palen deze constructie zullen ondersteunen. Daarom werd er voor deze studie uitgegaan van het slechtst mogelijke geval, nl. een cabine die doorloopt tot op het zeeniveau. De resultaten voor deze transformatorcabine voor een radarsignaal vanuit de radar Zeebrugge (i.e. de dichtstbijzijnde radar) zijn weergegeven in Fig. 38.



Buiten de duidelijk zichtbare “opening” aan de achterzijde van de transformatorcabine, zijn er aan weerszijde ook “uitsteeksels” zichtbaar die veroorzaakt worden door de geometrie van de cabine (reflecties op de zijvlakken, waardoor de radardwarsdoorsnede van het obstakel toeneemt).

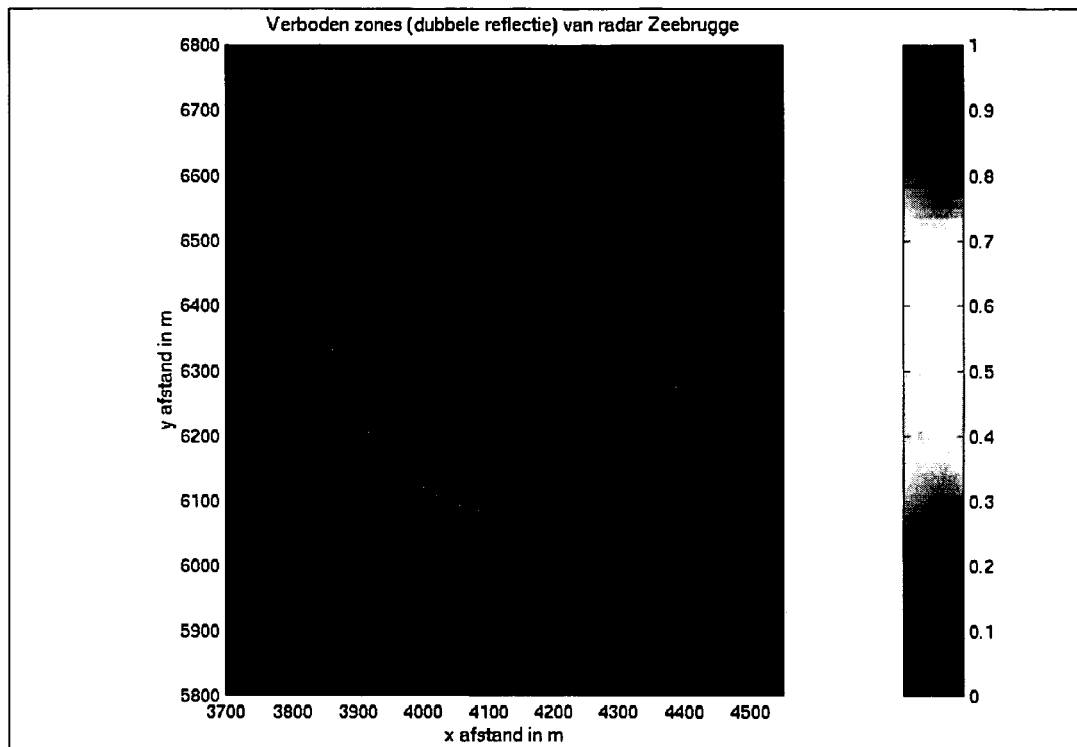


Fig. 38: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor de radar van Zeebrugge, in de omgeving van de transformatorcabine van Totalfina Eolia

Seanergy

Volgens de laatste berichten hier in tegenstelling tot de hoger vermelde aanname, zal de transformatorcabine niet aan de voorkant van het park worden geplaatst. Het onderzochte deel van Seanergy zou immers maar het eerste deel van een 4-fasig plan zijn (zie gebied I in

Fig. 39). In latere fases zouden immers nog meer windturbines toegevoegd worden in gebieden II, III (overlapping met concessiegebied van Totalfina Eolia?) en IV. Hierdoor zou de transformatorcabine op het centrale punt van de 4 deelgebieden worden geplaatst (centraal in het globale park dat zij in het achterhoofd hebben). Indien de transformatorcabine daadwerkelijk op deze positie zou komen te staan zijn de effecten van deze cabine (30 bij 32 bij 9 m op een platform met 15 m hoogte) niet dominant t.o.v. de effecten van de “omringende” windturbines (om. door de grotere afstand naar de radar van Zeebrugge). Indien ze toch vooraan zou worden geplaatst ontstaat een gelijkaardig beeld als bij de transformatorcabine van Totalfina Eolia.

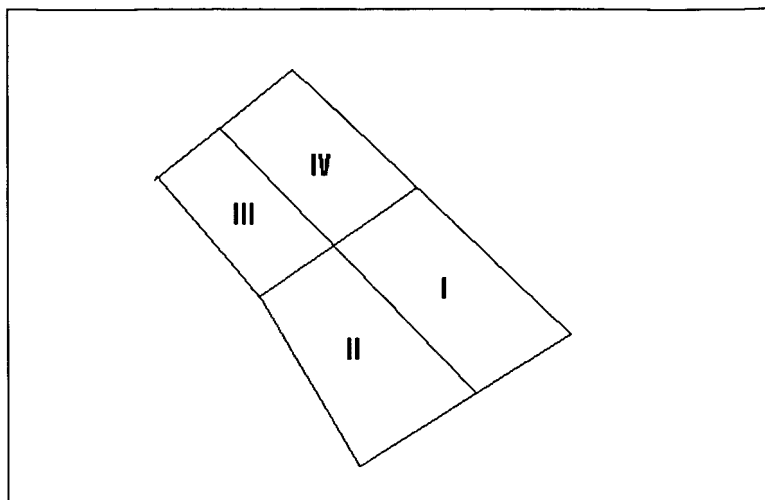


Fig. 39: mogelijke uitbreidingen van het concessiedomein van Seanergy

C-Power

In tegenstelling tot de vorige twee projectvoorstellen wordt hier afgeweken van een rechthoekige transformatorcabine die aan de onderzijde even breed is als aan de bovenzijde. Immers wanneer men de transformatorcabine piramidaal maakt (onderzijde breder dan de bovenzijde; in dit geval gaat men van een vierkant met zijde 18m op een hoogte van 9 m naar een vierkant met zijde 15 m) verdwijnen de reflecties (ook toegepast op de "Stealth" vliegtuigen die onzichtbaar zijn op de radar). Inderdaad worden de radargolven op deze manier naar boven gereflecteerd en geven zij dus geen aanleiding tot problemen met de dichtbijgelegen schepen. Uiteraard kan deze techniek ook toegepast worden voor de transformatorcabines van de andere firma's (goedkoopste oplossing).

1.4 MEERVOUDIGE VALSE ECHO'S (INTERFERENTIE-EFFECTEN)

Het al dan niet voorkomen van dit verschijnsel is af te leiden uit de voorgaande paragraaf. In deze paragraaf werd rondom de verschillende windturbines (en radars, maar deze vallen telkens buiten het bereik van de figuur) een cirkel getekend, die de gebieden, waar valse echo's kunnen optreden, aanduiden. Indien één windturbine binnen de cirkel van een naburig obstakel (turbine of cabine) gelegen is kunnen meervoudige reflecties optreden, wat zich uit in een, op één rechte lijn gelegen, reeks valse echo's, die zich tot enkele km achter de parken kunnen uitstrekken. Voor de drie beschouwde windturbineparken is de afstand tussen de verschillende windturbines echter steeds groter dan de straal van deze cirkels. Daarom zal er nergens aanleiding zijn tot meervoudige onderlinge reflecties tussen de verschillende windturbines.



1.5 GLOBAAL OVERZICHT

Op het eerste zicht lijken de resultaten uit paragraaf 1.1.3 nogal groot (zie Tabel 5) en roepen zij eerder bedenkingen op dan optimisme i.v.m. de bouw en exploitatie van de drie windturbineparken. Dit is echter nog niet zo dramatisch als het eruit ziet. De percentages uit de vorige paragraaf zijn immers de verminderingen van de waterdekking indien er slechts één van de radars zou werken. Uiteraard worden bepaalde zones die door de ene radar niet worden belicht wel belicht door één of meerdere van de andere radars. In onderstaande figuren is dit duidelijk gemaakt d.m.v. een kleurencode.

Voor dit deel van de studie gaat onze interesse vooral uit naar het "VTS-SM (Scheldermonding) en VTS-VK (Vlaamse Kust) werkingsgebied" (gele lijn op

Fig. 40) van de Schelderadarketen. Dit gebied komt in vrij grote mate overeen met het oude LOA-gebied (Tabel 6), mits een uitbreiding van de ondergrens (voor het oude LOA-gebied in lila op

Fig. 40) langsheen de Frans-Belgische grens. Het werkingsgebied volgt de eerste negen punten van dit oude LOA-gebied en volgt vanaf dit negende punt de Frans-Belgische grens.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

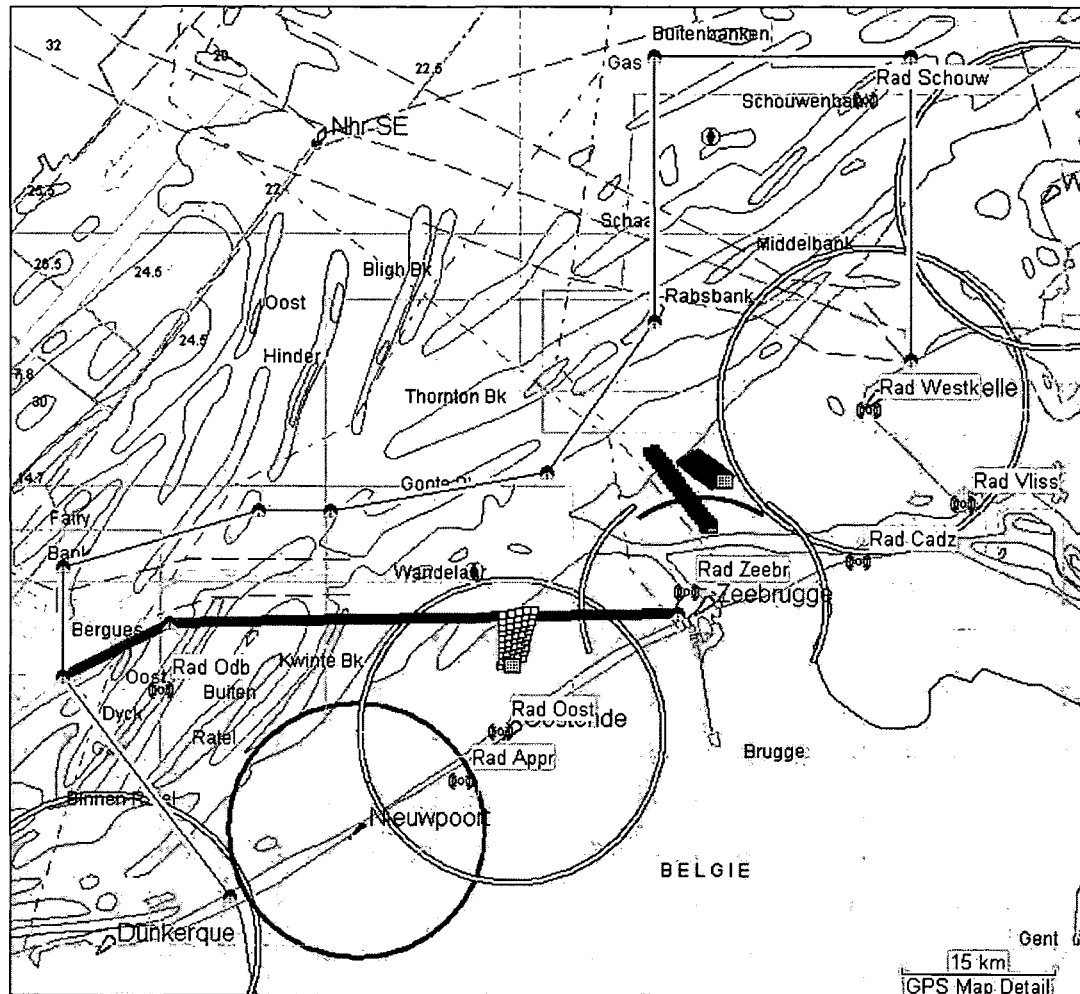


Fig. 40: tekening van het werkingsgebied van SRK (geel) en ondergrens van het oude LOA-gebied (BET – lila)



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



Positie Punt	WGS 84		UTM 31 – ED 50	
	Breedtegraad (NB)	Lengtegraad (OL)	Easting [m]	Northing [m]
LOA 01	51° 34' 00"	03° 30' 00"	534749	5713173
LOA 02	51° 50' 00"	03° 30' 00"	534546	5742830
LOA 03	51° 50' 00"	03° 08' 30"	509855	5742721
LOA 04	51° 36' 00"	03° 08' 30"	509905	5716770
LOA 05	51° 28' 00"	02° 59' 24"	499399	5701932
LOA 06	51° 26' 00"	02° 41' 00"	478080	5698272
LOA 07	51° 26' 00"	02° 35' 00"	471129	5698307
LOA 08	51° 23' 00"	02° 18' 30"	451960	5692891
LOA 09	51° 17' 12"	02° 18' 30"	451859	5682141
LOA 10	51° 20' 00"	02° 27' 24"	462241	5687244
LOA 11	51° 20' 36"	03° 10' 24"	512166	5688230

Tabel 6:
hoekpunten van het oude LOA-gebied (BET)

Voor de berekening van de globale dekking binnen dit werkingsgebied zijn we uitgegaan van het worst case scenario. De verschillende windturbineparken werden telkens als één volledig blok beschouwd. Indien een punt voor een bepaalde radar achter dit blok gelegen is werd deze radar niet in rekening gebracht. De onderstaande figuren tonen aan de hand van een kleurencode aan door hoeveel radars “elk” punt gedekt wordt. Een radarbereik van 35 km is een veel realistischere waarde, dan de waarde die theoretisch kan gehaald worden, zijnde 43,2 km. Indien een bepaald punt dus voor een radar buiten het bereik ligt of indien het punt zich voor deze radar achter een of meerdere van de windturbineparken bevindt, zal deze radar dus niet meegerekend worden.

Voor het tekenen van deze figuren is ook reeds rekening gehouden met de mogelijke komst van een vierde windturbinepark (Zephyr op de Thornthonbank, op alle figuren aangeduid door een zwarte rechthoek). Enige eenvoudige aannames zijn hiervoor nodig geweest. Aan de hand van het voorstel werden de uiterste hoekpunten van het windturbinepark geschat. Er is dus geen rekening gehouden met de zone (omwille van de onderzeese pijlpijn) tussen de verschillende fases van dit project. In de nu volgende figuren worden de radarposten aangeduid door lila kruisjes; het werkingsgebied is afgebakend door een blauwe lijn.

Vooraleer een globale overzicht te geven van het volledige gebied volgen eerst zeven figuren (Fig. 41 t.e.m. Fig. 47) die voor elke radar afzonderlijk aangeven welke punten zichtbaar zijn (blauw gebied) en welke achter de verschillende windturbineparken verscholen gaan of buiten het bereik (35 km) van de radar liggen (bruine gebieden). Ze kunnen een hulp zijn in het verklaren van de verschillende bogen op de globale figuren.



Op de onderstaande figuren is de schaal van beide assen gelijk zodat cirkels cirkels blijven. De radars worden als volgt behandeld: eerst Oostende, dan Zeebrugge, Cadzand, Vlissingen, Westkapelle, Oostdyckbank en Schouwenbank.

Bij de figuren voor de radars van Cadzand, Vlissingen en die op de Schouwenbank werd eveneens rekening gehouden dat er geen signaal meer is "achter" Walcheren (obstructie door voornamelijk woningbouw). Voor de andere radars speelt dit niet zo een grote rol omdat de gemaakte fout daar enkel zorgt voor een hoger getal van zichtbaarheid (zie verder) op land, hetgeen ons en de SRK niet interesseert. De kleuren boven land geven dus meestal meer radars aan dan de werkelijke dekking.

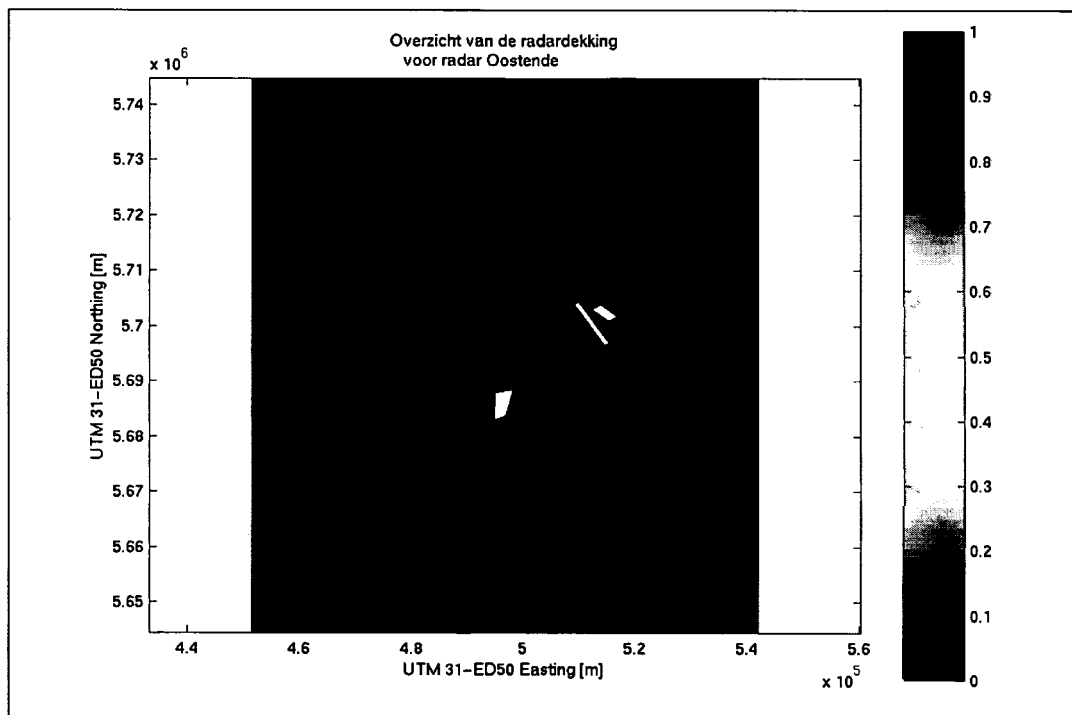


Fig. 41: overzicht van de radardekking van de radar van Oostende



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

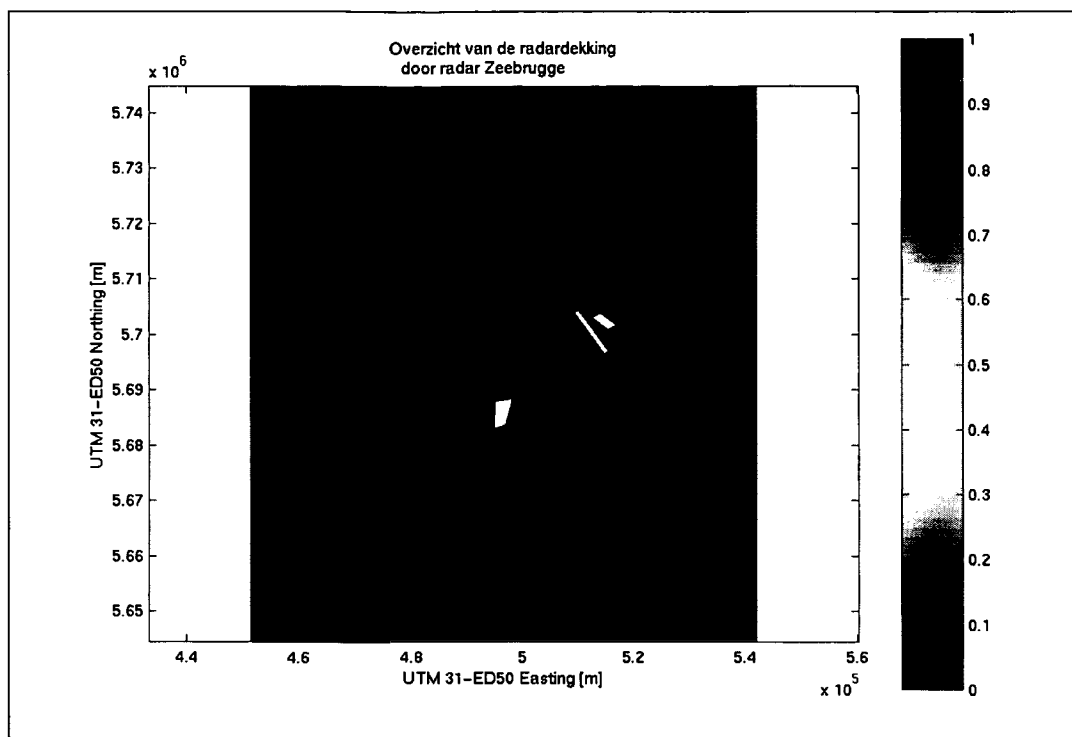


Fig. 42: overzicht van de radardekking van de radar van Zeebrugge

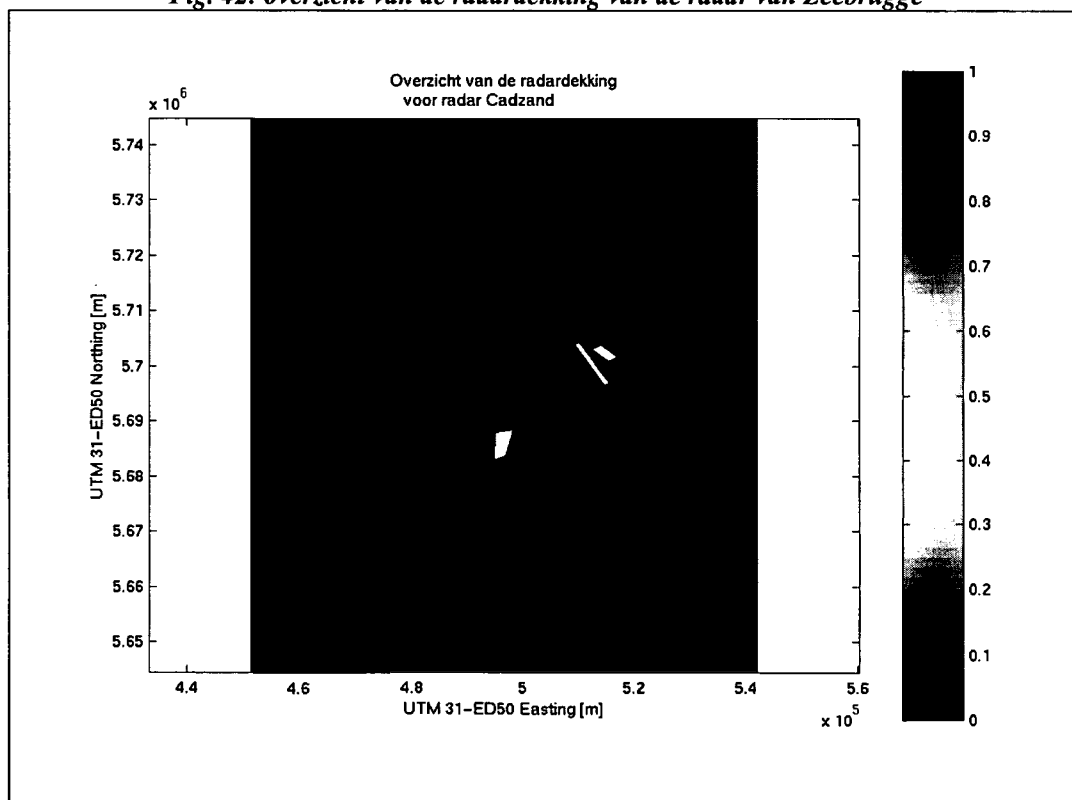


Fig. 43: overzicht van de radardekking van de radar van Cadzand



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

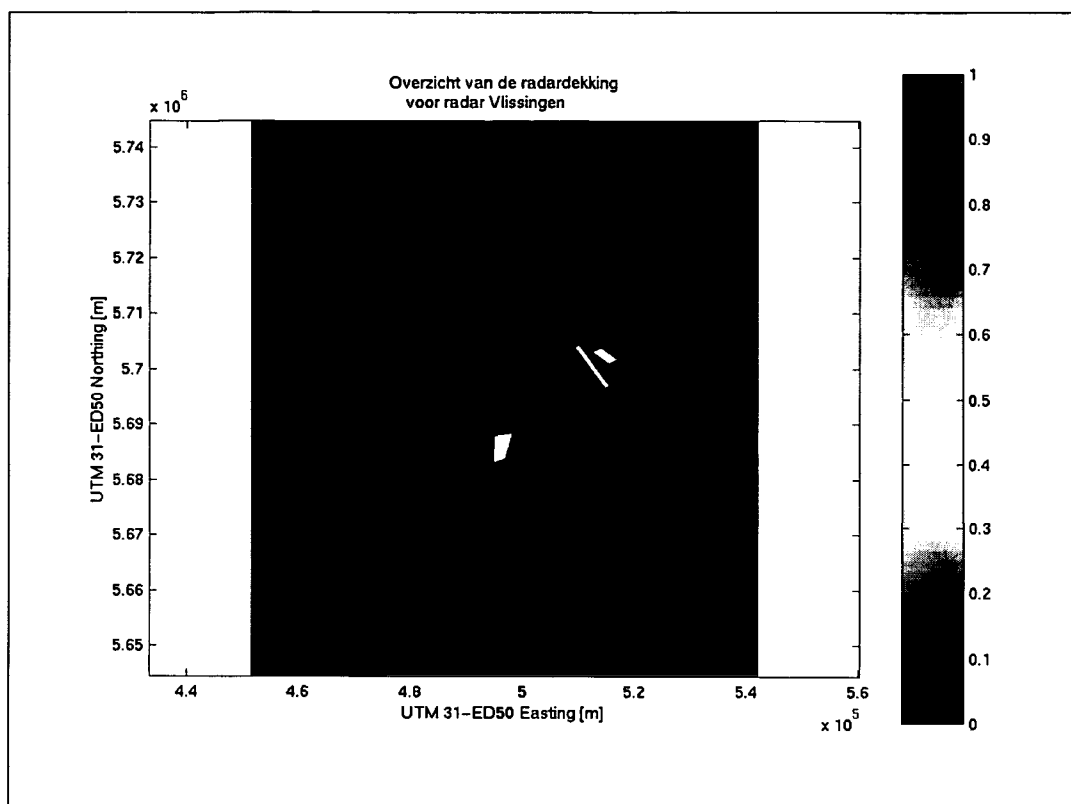


Fig. 44: overzicht van de radardekking van de radar van Vlissingen

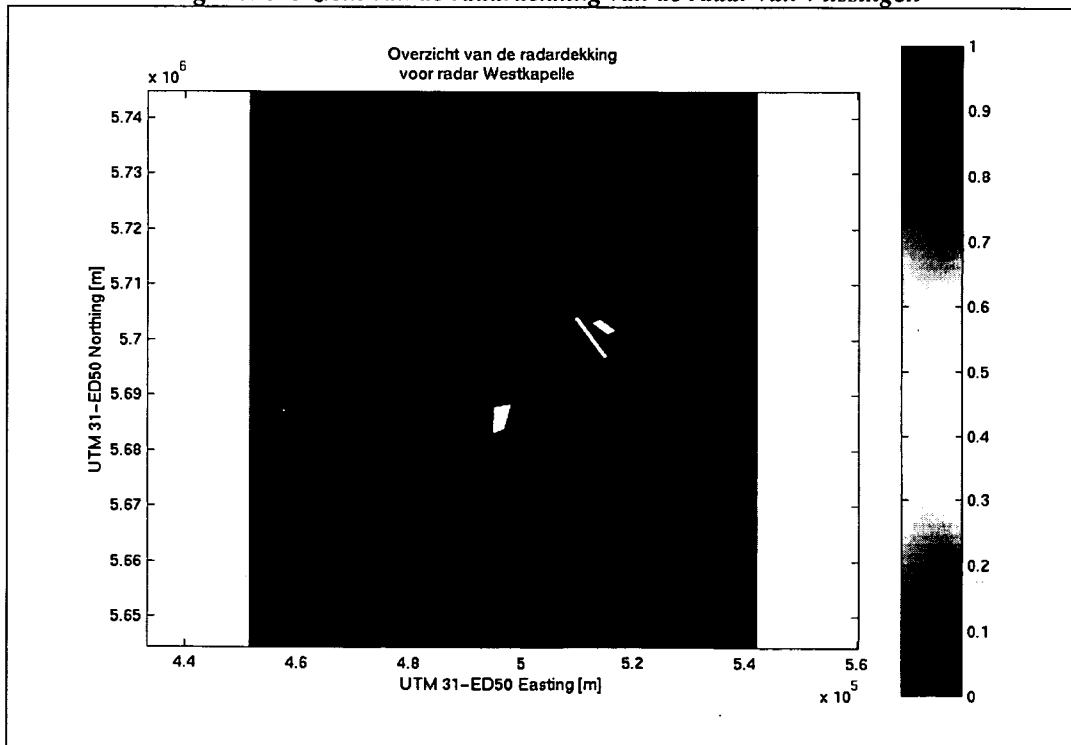


Fig. 45: overzicht van de radardekking van de radar van Westkapelle



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

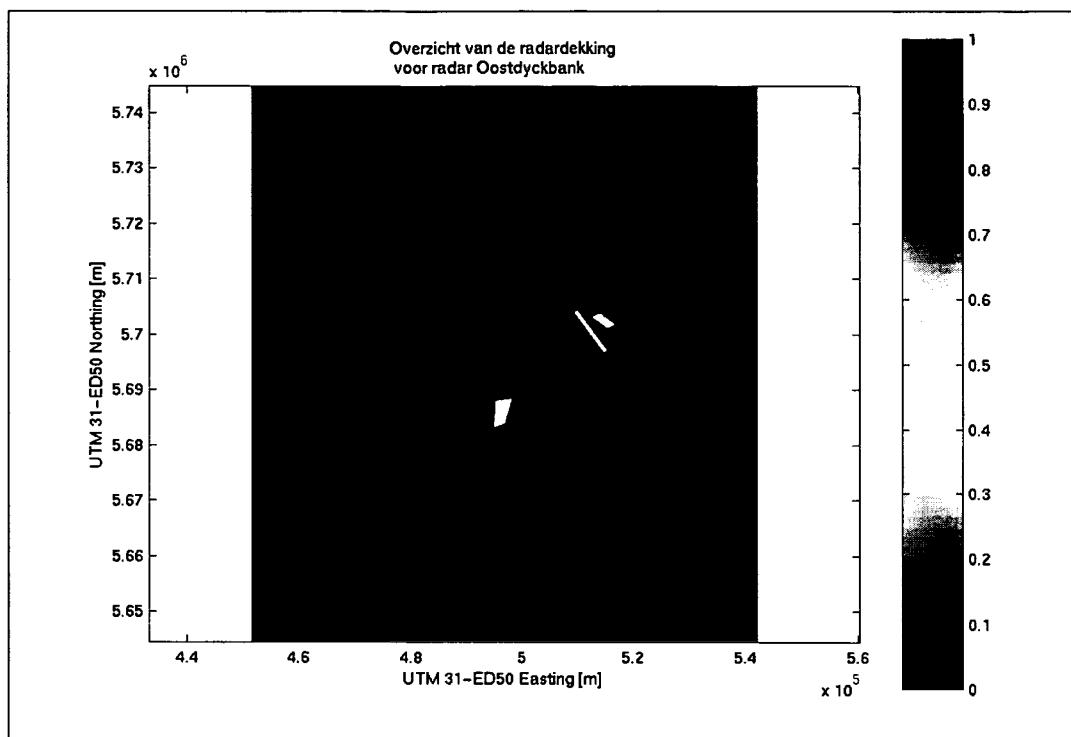


Fig. 46: overzicht van de radardekking van de radar op de Oostdyckbank

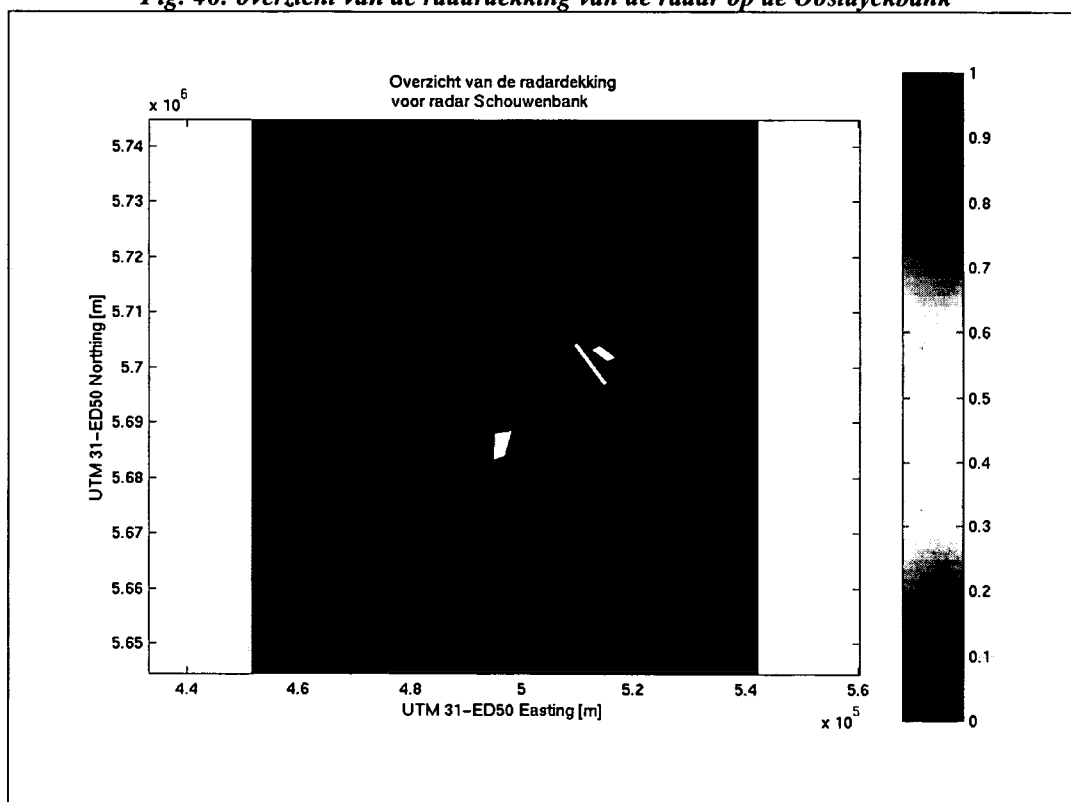


Fig. 47: overzicht van de radardekking van de radar op de Schouwenbank



Noordelijk gedeelte (Westkapelle – Schouwenbank)

In Fig. 49 is de radardekking van het noordelijk gedeelte van het werkingsgebied (VTS-SM en VTS-VK) te zien. Voor het overgrote deel van dit werkingsgebied geldt dat het gedekt is door twee of meerder radars (oranje). Toch zijn er twee “probleemzones” indien we rekening houden met de eis dat elke positie door minstens twee radars wordt gedekt:

- Enkel het meest noordelijke deel van het werkingsgebied is door slechts één radar gedekt (licht rood), nl. door de radar op de Schouwenbank.
- Een tweede zone ontstaat aan het noordoostelijk gedeelte van de landengte van Walcheren. De oorzaak hiervoor ligt in het feit dat we rekening gehouden hebben met het feit dat deze zone voor de radars van Cadzand, Vlissingen en Westkapelle zijn afgeschermd door woningbouw.

Misschien toch wel handig in het interpreteren van de figuren is de kleurschaal die in deze figuren wordt gebruikt, maar die er voor de duidelijkheid van de figuur werd afgeknipt bij het plaatsen op de ECDIS-kaarten. Hoewel onderstaande kleurenbalk (Fig. 48) continu is, zijn er slechts 9 mogelijke waarden in deze figuur aanwezig (waarde 0 t.e.m. 8). Het is dus zinvol om enkel naar de kleuren net naast de getallen te kijken.

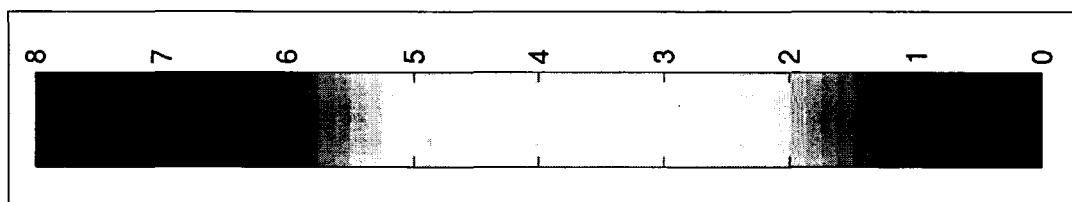


Fig. 48: kleurschaal voor de globale figuren

Zuidelijke gedeelte (Oostdyckbank – Westkapelle)

Het zuidelijk gebied bevat het leeuwendeel van het werkingsgebied (VTS-SM en VTS-VK) en strekt zich voornamelijk uit op Belgisch grondgebied.

Bij een realistisch radarbereik van 35 km (zie eerder) ontstaan er op Fig. 50 enkele probleemzones, die door slechts één radar of zelfs door geen enkele radar worden gedekt.

- De rode zone aan het westelijk uiteinde van het werkingsgebied is veeleer een gevolg van de grote afstand naar de verschillende radars (zelfs met het theoretisch radarbereik van 45 km). Deze zone wordt wellicht mede gedekt door de Franse radars, om. Duinkerke. In de huidige toestand zal het immers nog slechter zijn. Omdat de radar van Oostdyckbank in werkelijkheid nog niet actief is zal in de huidige toestand de oranje zone licht rood gekleurd zijn en de licht rode zone wordt dan donker rood, i.e. geen dekking.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



- Er ontstaat ook een licht rode zone boven het noordelijke deel van Walcheren. Dit is echter niet zo belangrijk omdat de SRK enkel geïnteresseerd is in de dekking over het water.
- De zone aan de knik van het werkingsgebied (een tiental kilometer achter het windturbinepark van C-Power en ongeveer halverwege het windturbinepark van Zephyr (in het zwart) wat betreft de x-coördinaat) is wel afkomstig vanwege de verschillende windturbineparken. Met name de windturbineparken van Totalfina Eolia en C-Power schermen respectievelijk de radars van Zeebrugge en Oostende af van dit gebied (zie
- Fig. 41 t.e.m. Fig. 47). Let wel dat de onderstaande figuren gegenereerd werden als een worst case. In werkelijkheid zullen bvb. achter het windturbinepark van C-Power slechts lijnen te zien zijn waar de radar geen zicht op heeft en geen volledig zones (zie ook paragraaf 1.1.3).
- De meest kritische zone is echter de zone tussen de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy (meer bepaald aan de noordwestelijke hoek van het windturbinepark van Seanergy). Op deze plaats ontstaat een zone die door geen enkele radar wordt gedekt. Verder wordt nagenoeg de volledige zone tussen beide windturbineparken slechts door één radar gedekt. Vermoedelijk zal deze zone echter vrij worden gemaakt van alle verkeer voor de scheepvaart. Het lijkt niet erg zinvol om tussen de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy te gaan varen (diepte beperkt tot ca. 10 m).

Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Fig. 49: globale dekking van het noordelijk gedeelte

Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

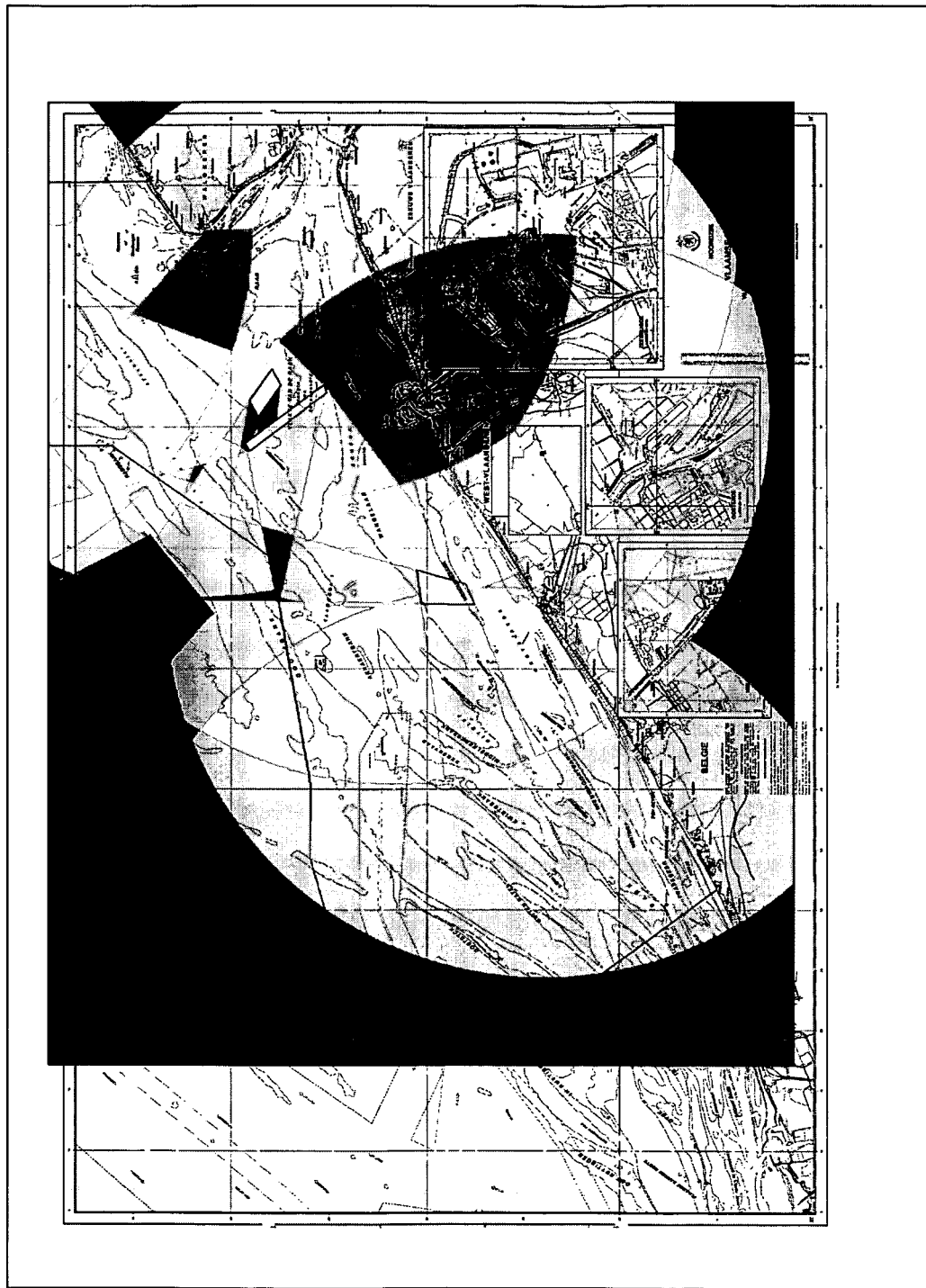


Fig. 50: globale dekking van het zuidelijk gedeelte



2 INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE MARIFONIE-INSTALLATIES

In onderstaande Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de verschillende VHF marifonie-installaties. Zoals reeds in de inleiding werd vermeld, zullen de effecten het grootst zijn bij de systemen met de kleinste golflengte (en dus hoogste frequentie). Eén blik op onderstaande tabel volstaat reeds om te zien dat de VHF frequenties, die voor deze toepassing worden gebruikt een heel pak lager liggen dan de frequenties van de radarinstallaties. Bij VHF communicatie spreken we van frequenties in de orde van 150 MHz (maximaal gebruikte frequentie is 162,55 MHz; kanaal WX1/US weerbericht) terwijl dat bij de radars schommelt rond de 9 GHz. Het verschil valt misschien meer op indien we de golflengtes met mekaar vergelijken: 1,84 m voor VHF communicatie tegen 0,033 m voor de radarapplicatie.

Locatie	UTM 31 – ED50		Nummer Kanaal	Frequentie [MHz]	TX/RX	Hoogte [m]
	Easting [m]	Northing [m]				
België						
Oostende Vuurtoren	495 240	5 676 318	16	156,800	TX	60
			29L	157,450	TX	60
			44	160,800	TX	62
			65	160,875	TX	60
			67L	156,375	TX	30
Oostende Radartoren	494 817	5 676 454	16	156,800	RX	35
			29L	157,450	RX	35
			44	156,200	RX	35
			65	156,275	RX	35
			67L	156,375	RX	35
Zeebrugge haven Radartoren	514 053	5 688 601	4	160,800	TX	50
			6	156,300	TX	20
			8	156,400	TX	20
			9	156,450	TX	20
			19	161,550	TX	45
			68	156,425	TX	20
			69	156,475	TX	25
			71	156,575	TX	20
			93H	162,275	TX	30
			93H	162,275	RX	30
Zeebrugge Radarcentrale	512 902	5 690 178	4	156,200	RX	31
			6	156,300	RX	15
			8	156,400	RX	15
			9	156,450	RX	15
			14	156,700	RX	31
			19	156,950	RX	31
			68	156,425	RX	31
			69	156,475	RX	15
			71	156,575	RX	15



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



Nederland						
Westkapelle Vuurtoren	531 112	5 708 978	9	156,450	TX	40
			29L	157,450	TX	40
			64	160,825	TX	40
			67	156,375	TX	40
			93H	162,275	TX	40
Westkapelle Radartoren	530 687	5 708 234	9	156,450	RX	45
			29L	157,450	RX	45
			64	156,225	RX	45
			67	156,375	RX	45
			93H	162,275	RX	45
Vlissingen Bachtenreede	539 595	5 699 689	14	156,700	TX/RX	45
			67	156,375	TX/RX	45
Vlissingen Radartoren	539 900	5 699 173	21	161,650	TX	40
			29L	157,450	TX	40
			40L	158,000	TX	40
			70H	160,125	TX	40
			70H	161,125	TX	40
			79	161,575	TX	40
			93H	162,275	TX	40
			3H	160,750	RX	35
Vlissingen Radarcentrale	540 690	5 699 303	6	156,300	RX	38
			8	156,400	RX	38
			9	156,450	RX	35
			21	156,050	RX	38
			22H	161,700	RX	35
			29L	157,450	RX	39
			40L	158,000	RX	38
			70H	161,125	RX	35
			70H	161,125	RX	38
			79	156,975	RX	39
			93H	162,275	RX	38

Tabel 7:
overzicht van de verschillende VHF Marifonie radars

De zendvermogens liggen voor VHF communicatie ook een heel pak lager dan voor de radarapplicatie. Zendvermogens van meerdere kW's worden hier vervangen door enkele Watt's (variërend tussen 8 en 20 W; zelfs maar 3 W voor de lokale marifonie-installatie "Bachtenreede Vlissingen"). De gevoeligheid van de ontvangers daarentegen ligt wel in dezelfde grootte orde als die van de radars (een gevoeligheid van 1,28 μ V komt inderdaad overeen met -134 dBW). De winsten van de antennes variëren tussen de 3 en 4 dBd (+ 2,1484 voor de omzetting naar dBi).

De windturbines geven ook een kleine verzwakking van het signaal (maar veel kleiner dan die van een radar) in de richting antenne-schip. Deze blijft beperkt tot enkele decibels, en zal voor de korte afstanden schip-antenne, waar de schaduwing optreedt, (kleiner) geen aanleiding geven tot nadelige effecten. De invloed van één windturbine bij 162,55 MHz (slechtste geval want hoogste marifonie frequentie in de VHF band; kanaal WX1/US weerbericht) is te zien op Fig. 52.



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Vermits de golflengte veel groter is (1,84 m), is het effect ook veel minder uitgesproken dan bij radarfrequenties (ter vergelijking is de golflengte daar slechts 33,1 mm), hoewel de invloed van de stand van de wieken relatief gezien wel groter is. Enkel op minder dan 20 m afstand van de turbine is een beduidende verzwakking merkbaar.

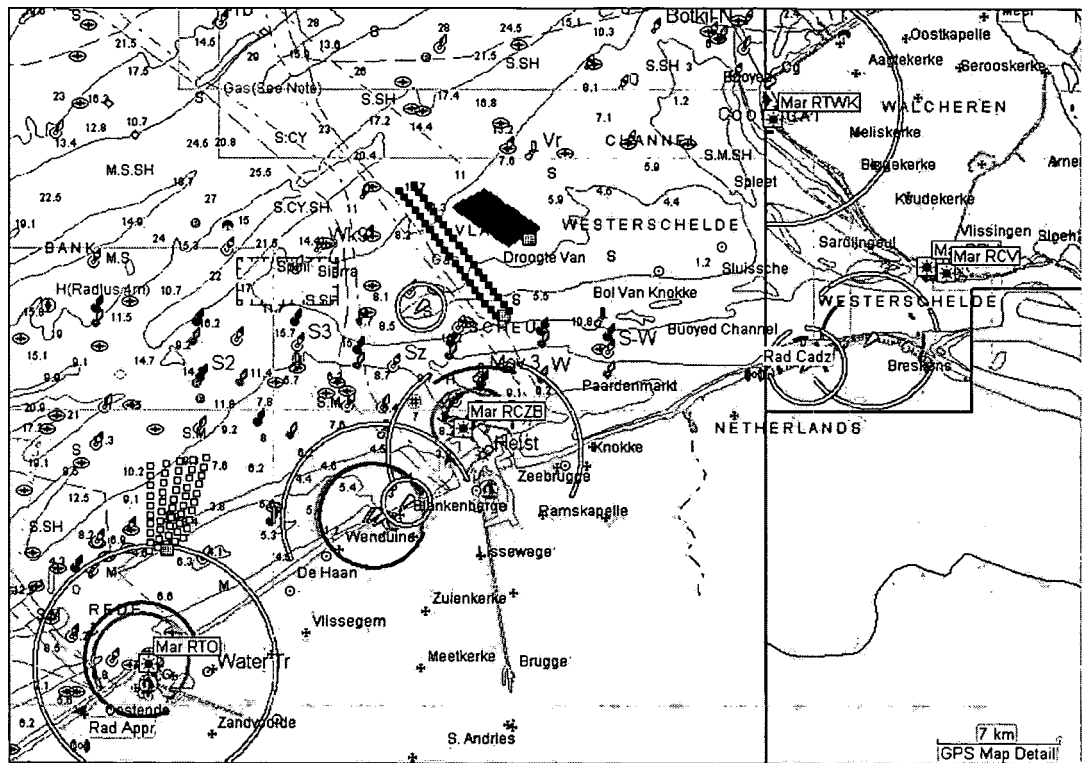


Fig. 51: overzicht van de marifonie installaties (bij gele rechthoekjes)



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

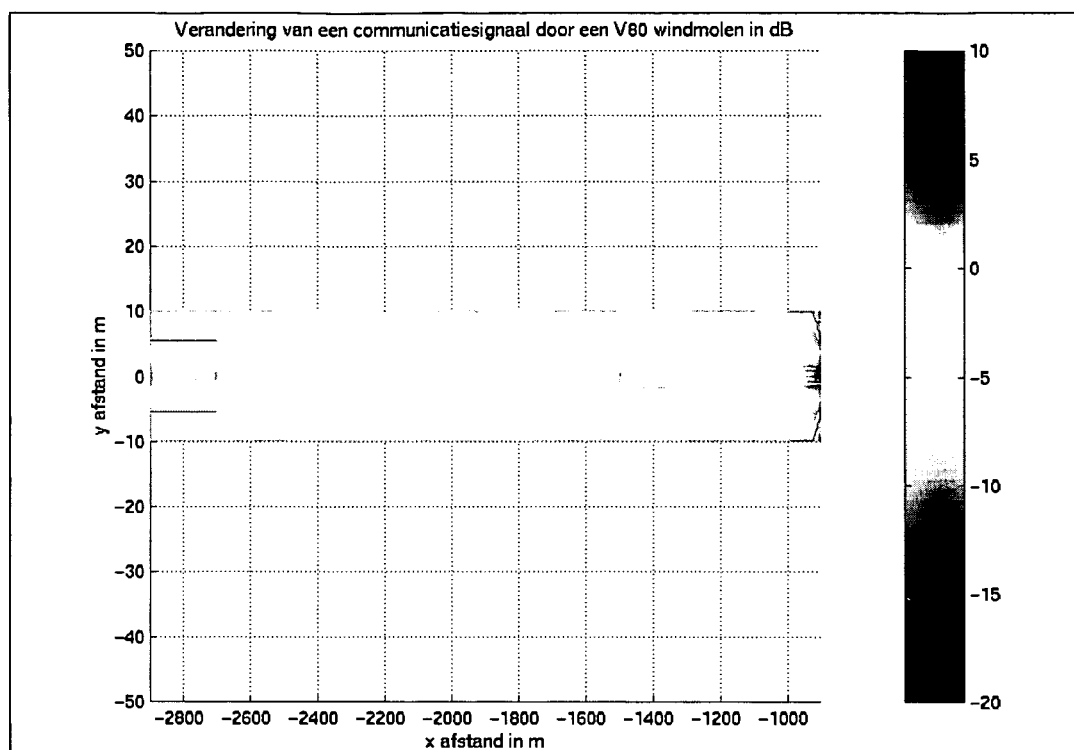


Fig. 52: effect van de schaduwing van een windturbine bij marifonie frequenties.



Net als bij de radars kan voor elke marifonie installatie nagegaan worden, welk deel van het wateroppervlak door de verschillende windturbineparken wordt afgeschermd. In dit geval bekijken we de zendinstallaties. Voor elke zender kunnen we zoals bij de radars een figuur maken voor het windturbinepark van C-Power enerzijds en een figuur voor de twee andere beschouwde windturbineparken anderzijds. Ook hier ziet men stralen achter de windturbines en transformatorcabines maar let wel dat het hier weer om een benadering gaat. In werkelijkheid zal de situatie er steeds iets beter uitzien (voornamelijk door een beperking van het aantal diffracties wordt hier een worst case scenario, om. slechtste gevoeligheid in de ontvangers, getoond).

Het bereik wordt eerder beperkt door de zichtbaarheid van de schepen (zoals in het geval van de radar: 35 km voor een antennemast van ca. 40 m en een scheepsantenne 10 m boven het wateroppervlak) dan door het radiofrequent bereik (in de vlakke aarde veronderstelling bedraagt dit 79,25 km). De onderstaande figuren werden wel met de vrije ruimte benadering gegenereerd. Ze geven dus geen absoluut juist beeld van het ontvangen signaal, maar wel een correcte relatieve verzwakking van de signalen aan.

Oostende

Net zoals bij de radars zal het effect hier het grootst zijn bij het windturbinepark dat het dichtst bij de marifonie-installatie is gelegen. Voor Oostende is dat het windturbinepark van C-Power (Fig. 53). Men kan onmiddellijk opmerken dat de posities van de windturbines op de middelste rij (uitgebreid met de transformatorcabine) t.o.v. de positie van de marifoniezender (in de Vuurtoren van Oostende) zo geplaatst zijn dat ze voor een steeds bredere lijn van schaduw zorgen. Zo lijkt het dat bovenaan deze figuur een brede schaduwzone ontstaat. Toch wil ik er hier nogmaals op wijzen dat het in dit geval echt wel een worst case is (in Fig. 52 wordt een zone van slechts ca. 20 m achter de windturbine, waar een beduidende verzwakking merkbaar is, vermeld). Op de tweede figuur (Fig. 54) zien we dat het effect hier veel minder uitgesproken is door de grotere afstand naar deze windturbineparken.

Zeebrugge

Voor de installatie te Zeebrugge is het omgekeerd; nu zijn het de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy die het meest nabij gelegen zijn. Logischerwijs zullen dan hier ook de grootste effecten te zien zijn (Fig. 56). Net als bij Oostende ontstaat hier door de toevallige positie (t.o.v. de zender) van enkele windturbines (één van Totalfina Eolia en vier van Seanergy) en de transformatorcabine van Totalfina Eolia een brede schaduwzone.



Op de figuur voor het windturbinepark van C-Power (Fig. 55) is deze keer slechts weinig te zien. Enkel de meest zuidelijke rij en de transformatorcabine zorgen voor een zichtbaar effect.

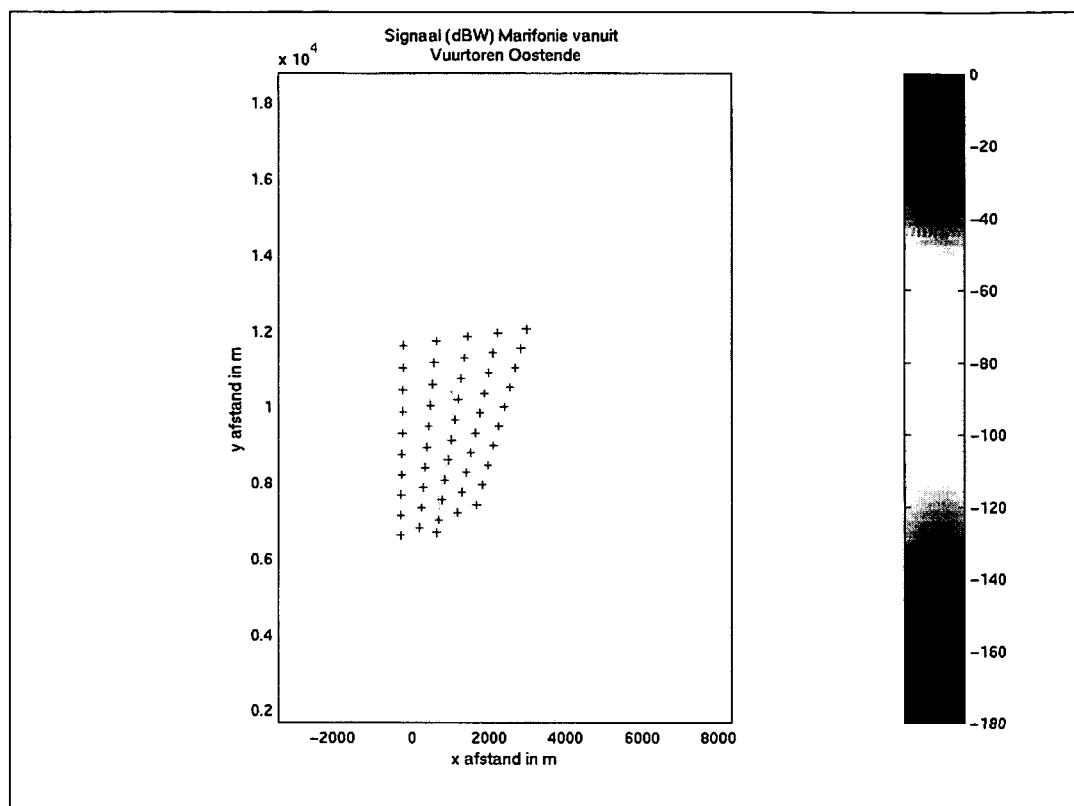


Fig. 53: marifoniesignaal (dBW) van Oostende (Vuurtoren) rondom het windturbinepark van C-Power

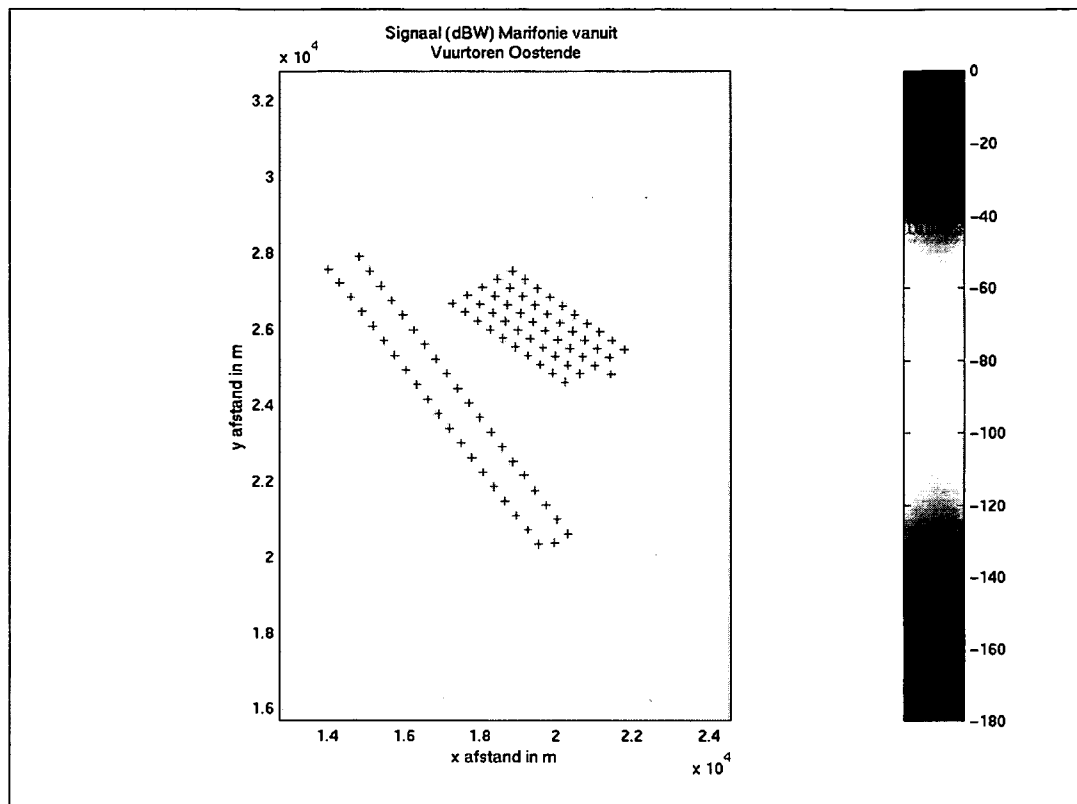


Fig. 54: marifoniesignaal (dBW) van Oostende (Vuurtoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

Westkapelle

Gezien het veel grotere bereik van deze marifonie-installaties (wat ook al moge blijken aan de hand van de signaalsterktes uit de vorige figuren t.o.v. vergelijkbare figuren uit hoofdstuk 1) speelt de installatie te Westkapelle deze keer wel mee in het verhaal. Op de figuur van C-Power (Fig. 57) is deze keer dus wel duidelijk de invloed van het windturbinepark merkbaar. Merk ook op dat net als bij de radars hier de schaduwzones van de twee andere parken duidelijk zichtbaar zijn (stralen buiten het windturbinepark van C-Power). Voor de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy (Fig. 79) is de figuur zeer sterk (op uitzondering van de absolute sterkte van het signaal uiteraard) gelijkend op de figuur van de radar van Westkapelle (Fig. 24).



Vlissingen

Vlissingen heeft twee zendinstallaties: “Bachtenreede”, die eveneens ontvangt, en één op de radartoren. De eerst genoemde installatie is diegene met het kleinste zendvermogen en dient ons inziens voor de lokale VHF communicatie ter hoogte van de Scheldemonding. Omwille van dit kleiner zendvermogen is het ook normaal dat de signalen van deze installatie (Fig. 59 en Fig. 61) iets kleiner zullen zijn dan de signalen vanuit de radartoren (Fig. 60 en Fig. 62). Daarom ook zijn bij het windturbinepark van C-Power de stralen minder zichtbaar op de figuur vanuit “Bachtenreede” dan op de figuur vanuit de radartoren. Een zelfde conclusie geldt voor de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.

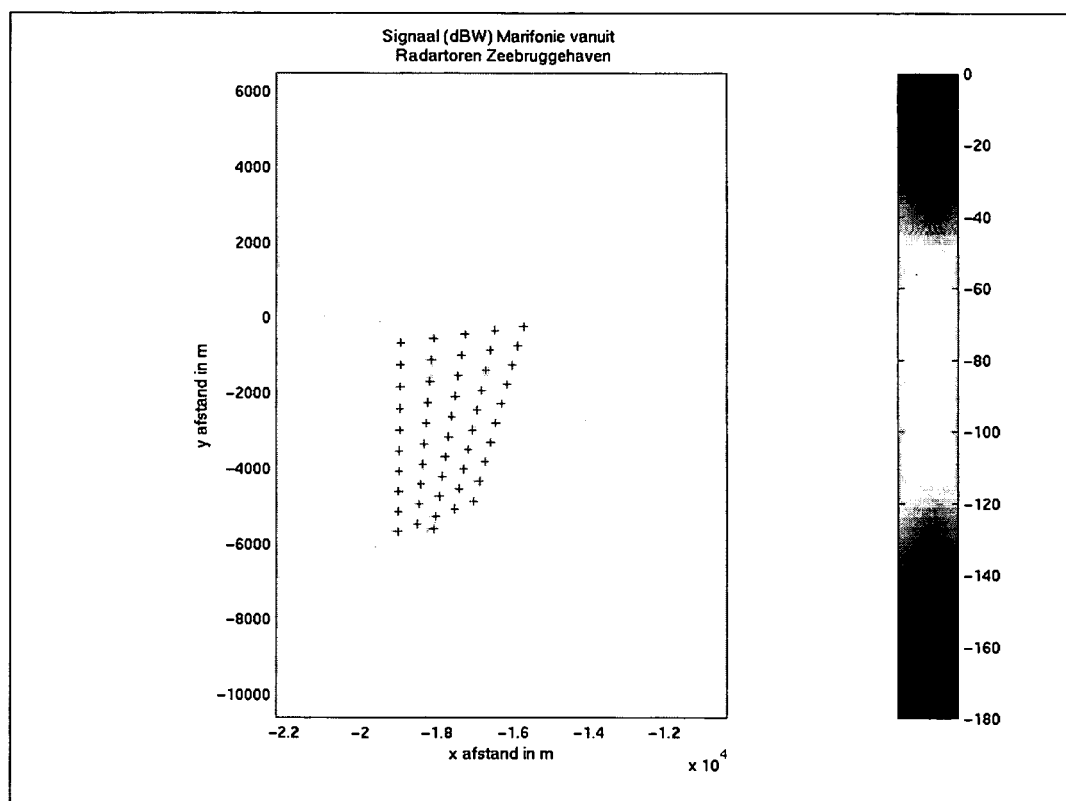


Fig. 55: marifoniesignaal (dBW) van Zeebrugge (haven) rondom het windturbinepark van C-Power



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

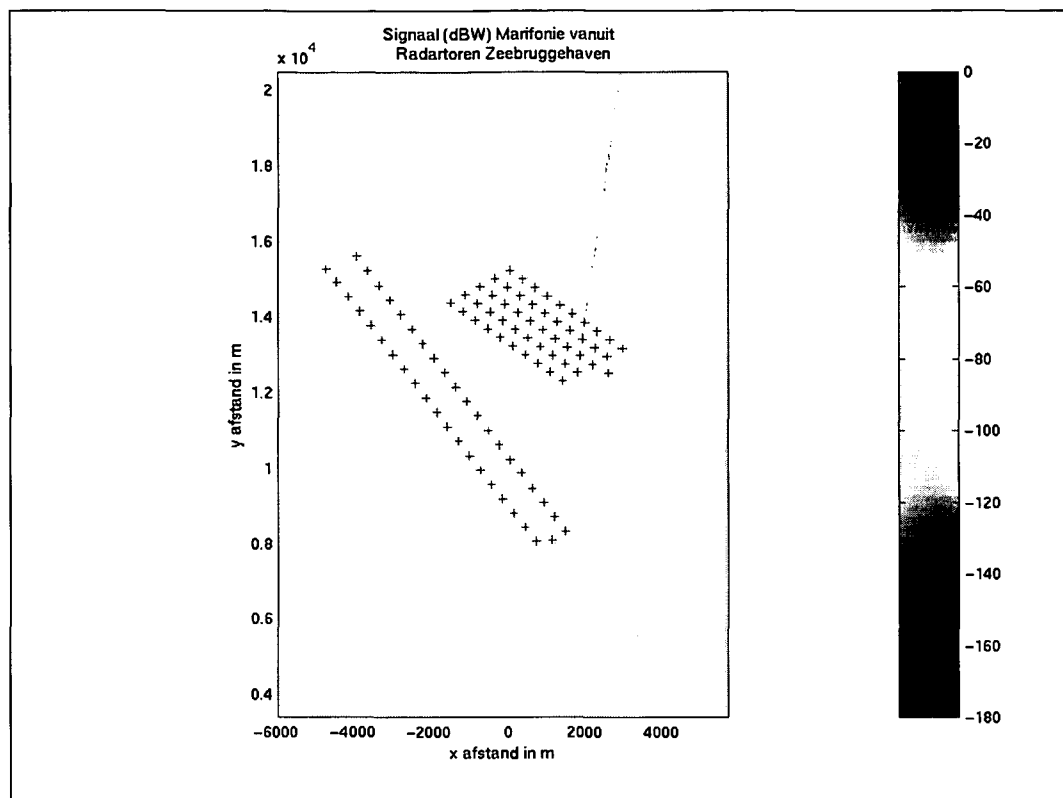


Fig. 56: marifoniesignaal (dBW) van Zeebrugge (haven) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

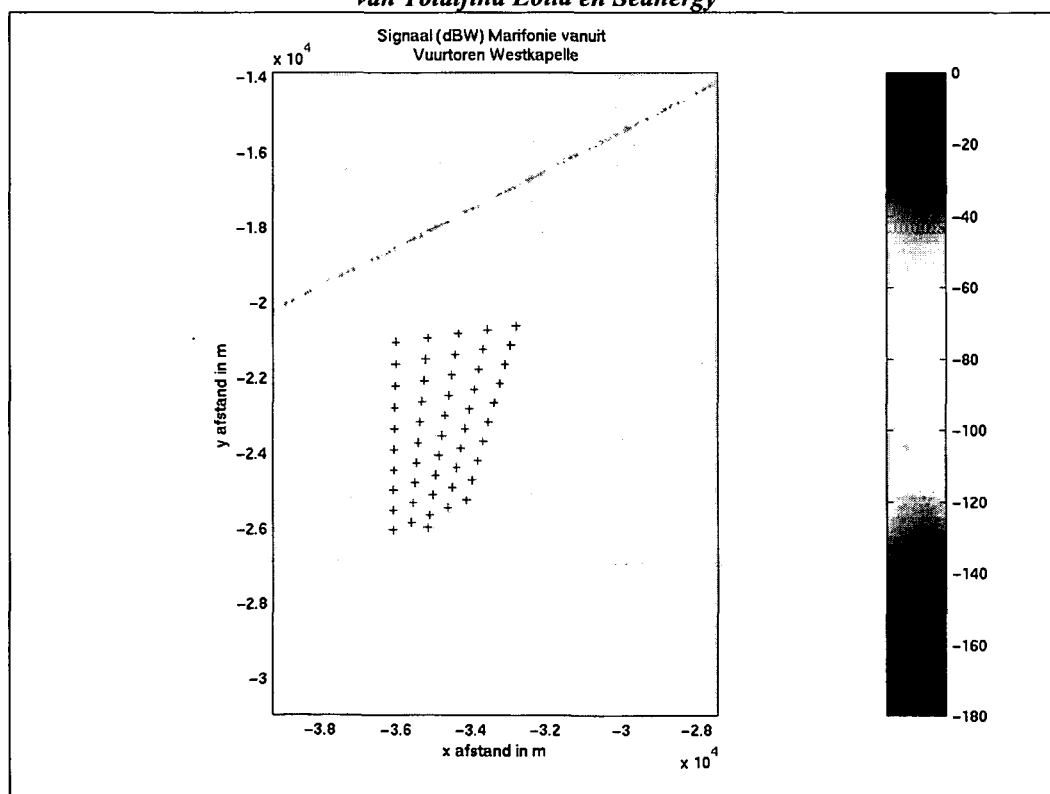


Fig. 57: marifoniesignaal (dBW) van Westkapelle (Vuurtoren) rondom het windturbinepark van C-Power



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

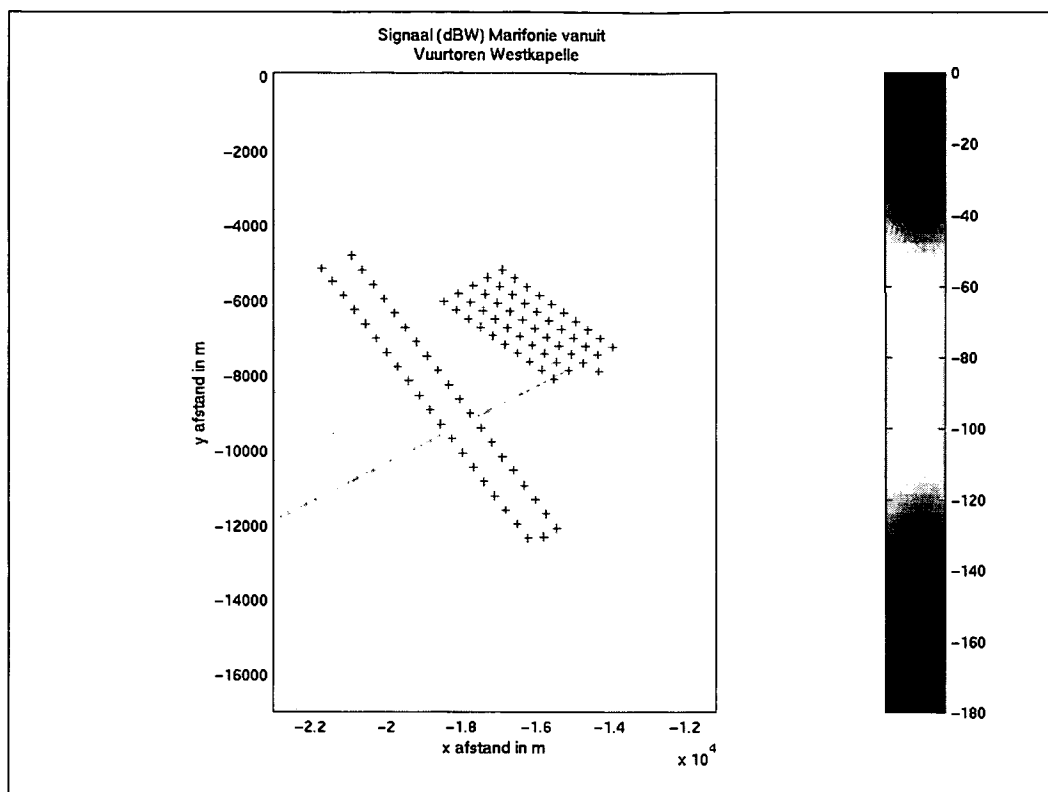


Fig. 58: marifoniesignaal (dBW) van Westkapelle (Vuurtoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

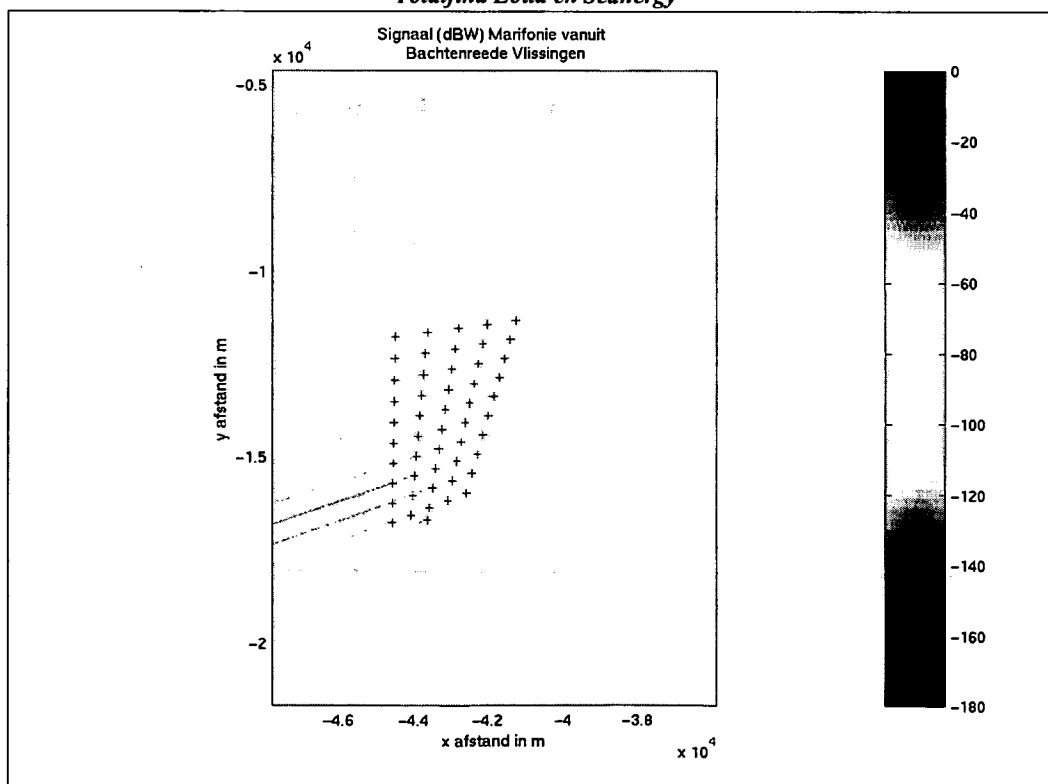


Fig. 59: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Bachtenreede) rondom het windturbinepark van C-Power



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

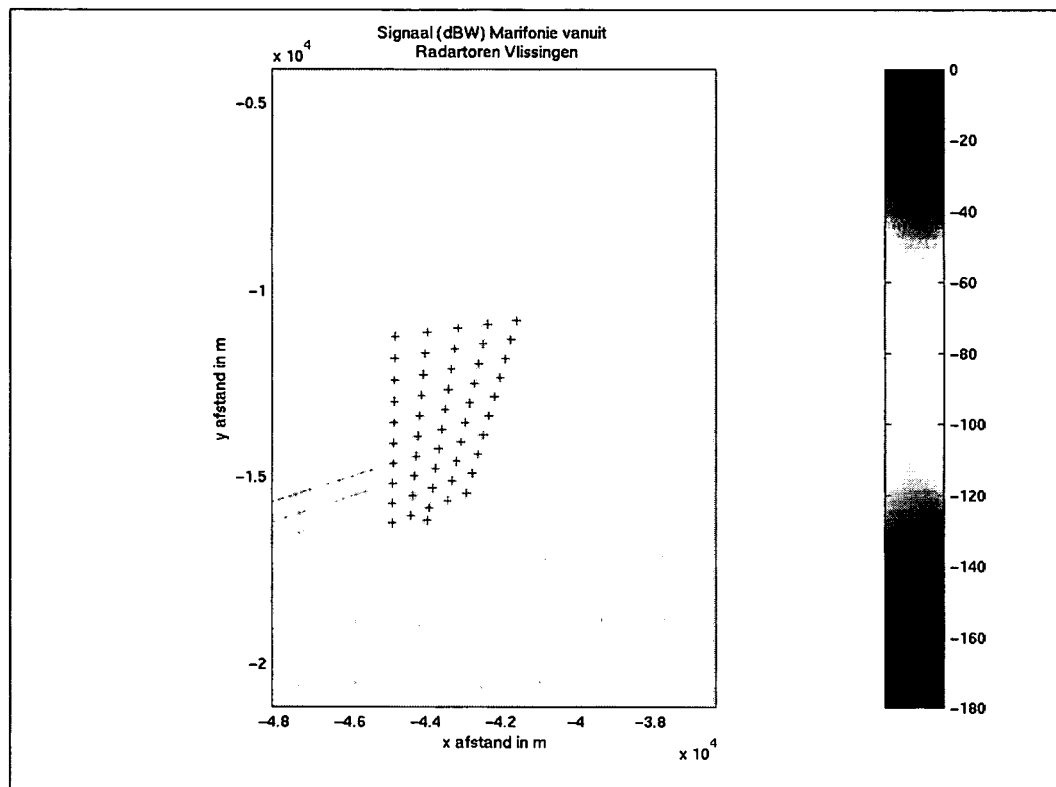


Fig. 60: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Radartoren) rondom het windturbinepark van C-Power

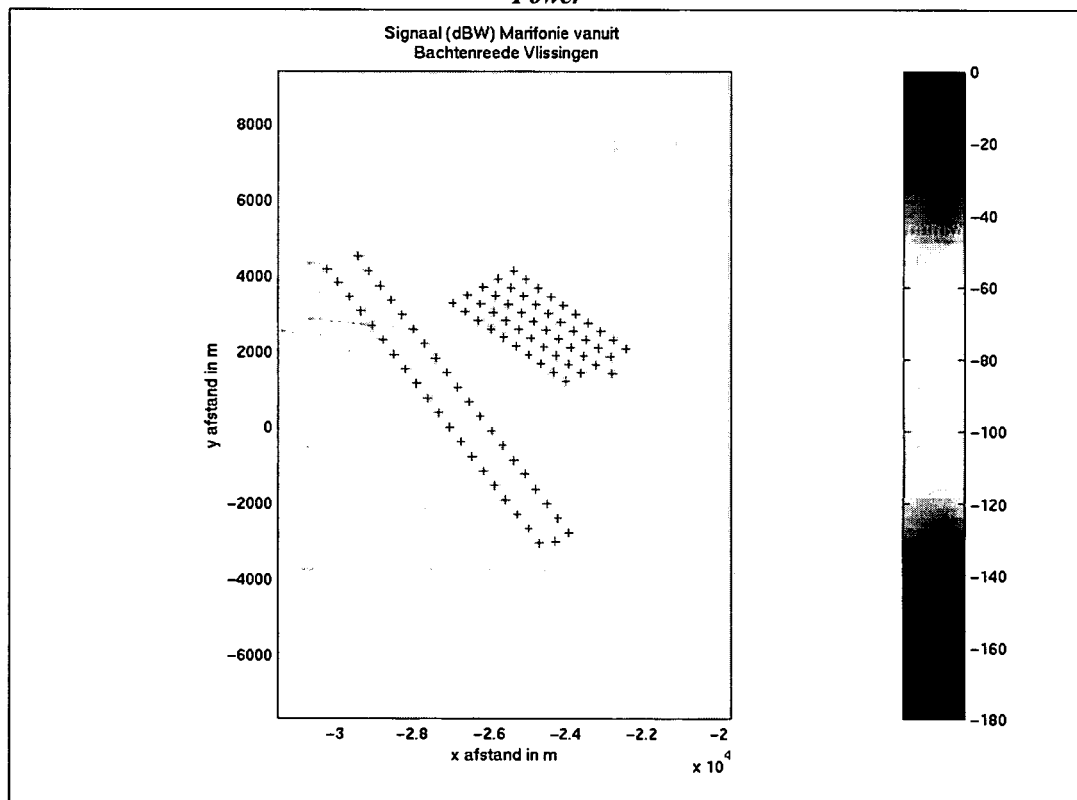


Fig. 61: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Bachtenreede) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

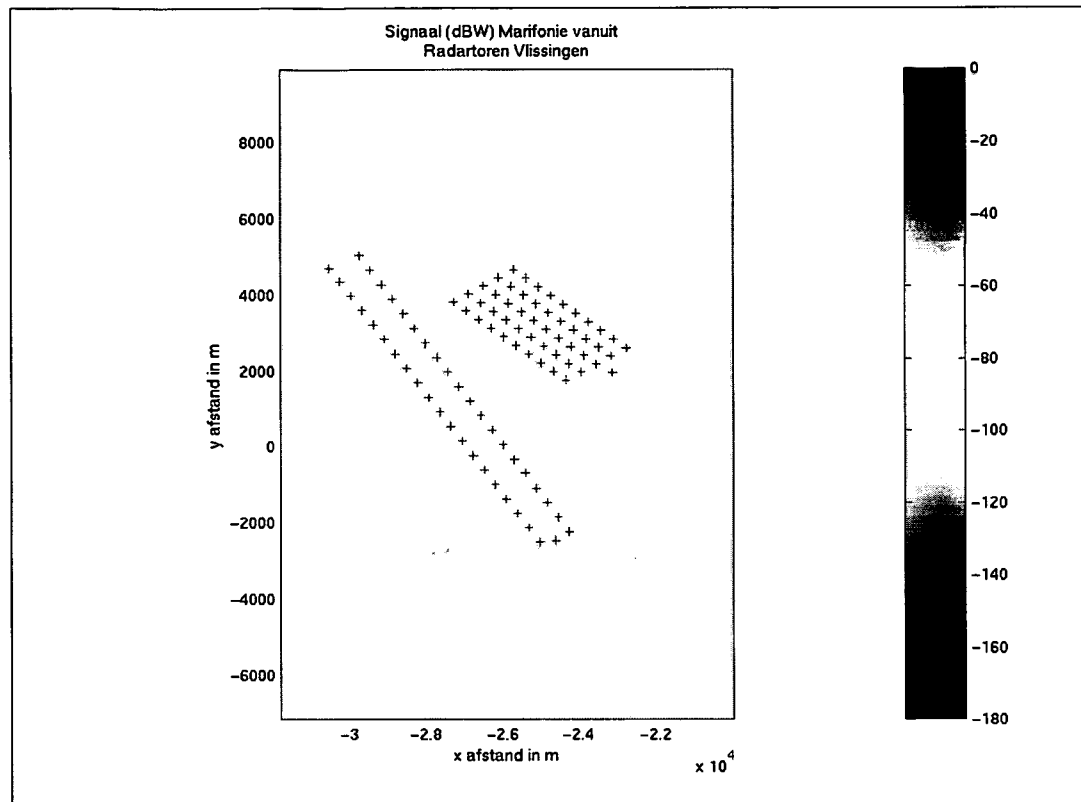


Fig. 62: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Radartoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

Besluit

Het gebruik van FM evenals de geringe invloed van de windturbineparken op marifoniesignalen zullen voor geen noemenswaardige verstoringen zorgen in de communicatie met schepen.



3 INVLOED OP DE VEILIGHEIDS – EN COMMUNICA- TIE-INSTALLATIES AAN BOORD VAN DE SCHEPEN

3.1 RADAR AAN BOORD VAN DE SCHEPEN

Om de werking van de radarinstallaties aan boord van de schepen te testen hebben we een aantal posities van deze schepen langsheen de verschillende vaarroutes bekeken. Deze punten zijn zodanig gekozen dat de afstand tussen het schip op de vaarroute en de dichtstbijzijnde windturbine of transformatorcabine zo klein mogelijk is. Na een grondige studie van de verschillende vaarroutes hebben we drie scheepsposities, 1 en 3 in de “buurt” van het windturbinepark van Totalfina Eolia en 2 in de “buurt” van dat van C-Power, weerhouden (aangeduid door gele ankertjes in Fig. 63, waarin de beschouwde vaarroutes eveneens - met paarse lijn - zijn aangeduid). In de onderstaande tabel (Tabel 8) staan de coördinaten van de beschouwde scheepsposities weergegeven. REFMERGEFORMAT

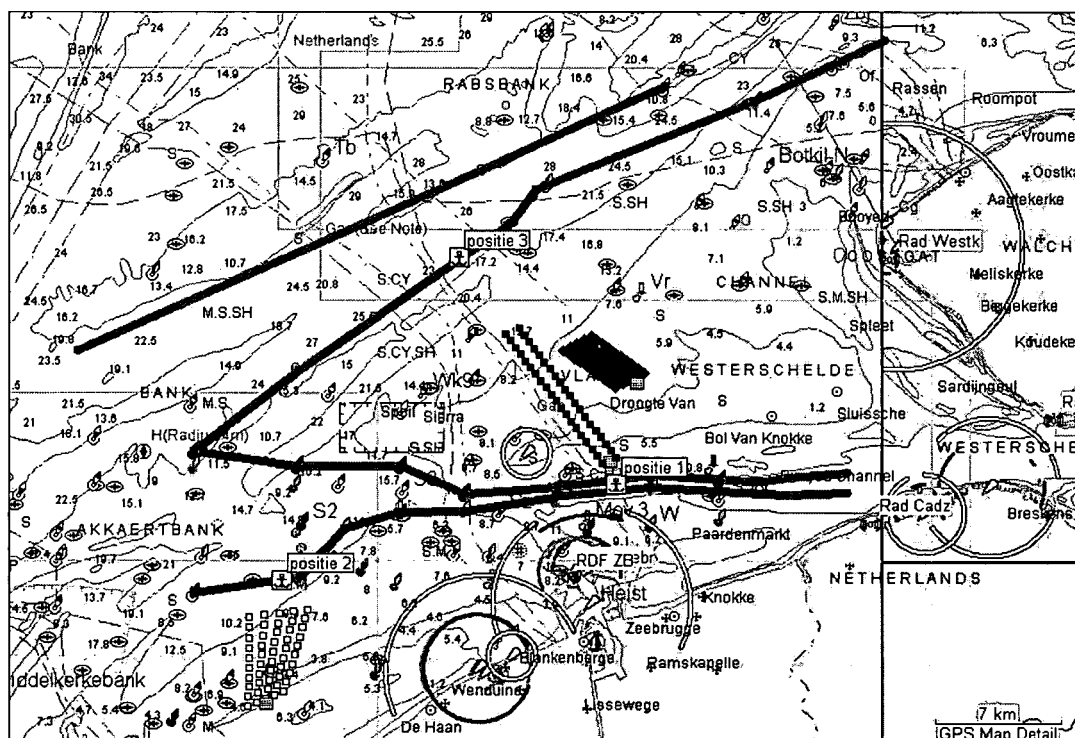


Fig. 63: overzicht van de beschouwde scheepsposities en vaarroutes



Positie	UTM 31 – ED 50		Dichtstbijzijnde windturbinepark	Afstand [m]
	Easting [m]	Easting [m]		
Scheepspositie 1	515 519	5 695 452	Totalfina Eolia	1286,5
Scheepspositie 2	496 763	5 690 065	C-Power	1903,4
Scheepspositie 3	506 704	5 708 251	Totalfina Eolia	5073,4

Tabel 8:
coördinaten van de beschouwde scheepsposities

Scheepspositie 1

De eerste keuze van een scheepspositie viel op de vaarroute aan de zuidkant van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.

Zoals reeds uit Tabel 8 blijkt is dit punt het meest kritisch (kleinste afstand naar de dichtstbijzijnde - in dit geval - transformatorcabine). In paragraaf 1.3 (over valse echo's) werd reeds uitgelegd dat deze afstand nefast is voor de grootte van de zones die aanleiding geven tot valse echo's. Deze zones moeten eigenlijk vrij zijn van enig obstakel. In de onderstaande figuren (Fig. 64 en meer in detail Fig. 65) blijkt reeds dat hier niet aan voldaan is voor deze scheepspositie (de transformatorcabine staat in de cirkel van de eerste twee windturbines). Dit probleem kan opgelost worden door de transformatorcabine achteraan of meer centraal in het windturbinepark te plaatsen.

REFMERGEFORMATREFMERGEFORMATREFMERGEFORMAT



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

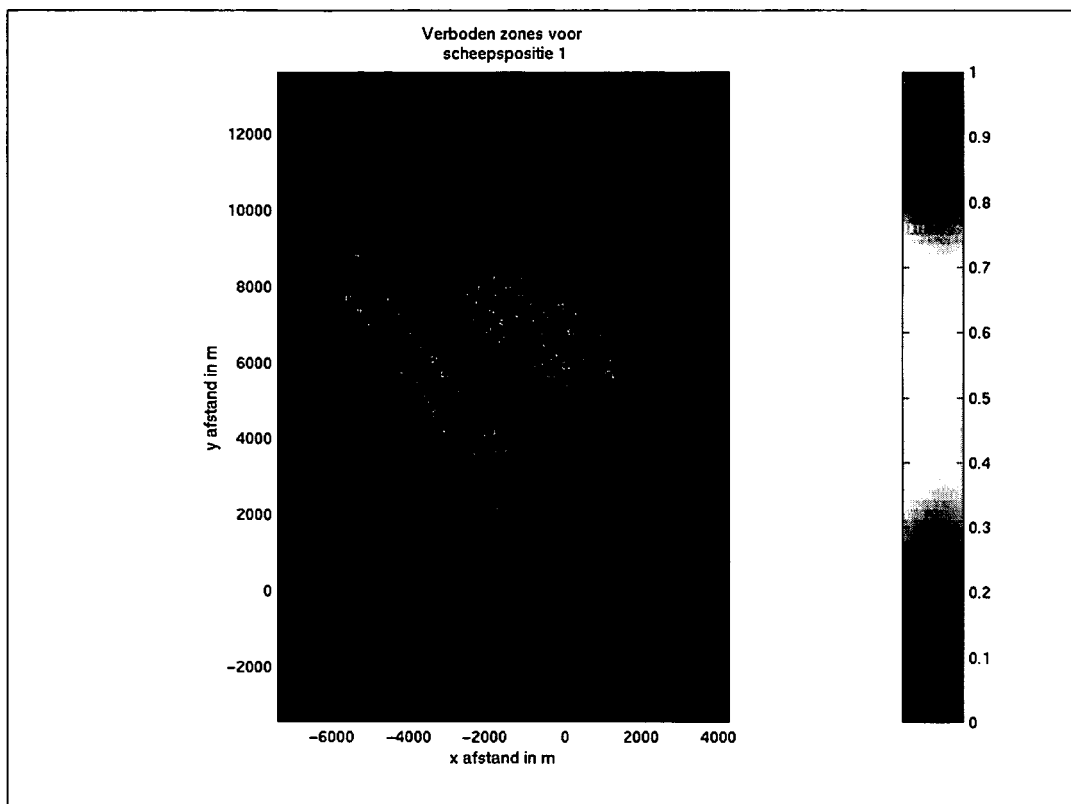


Fig. 64: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 1

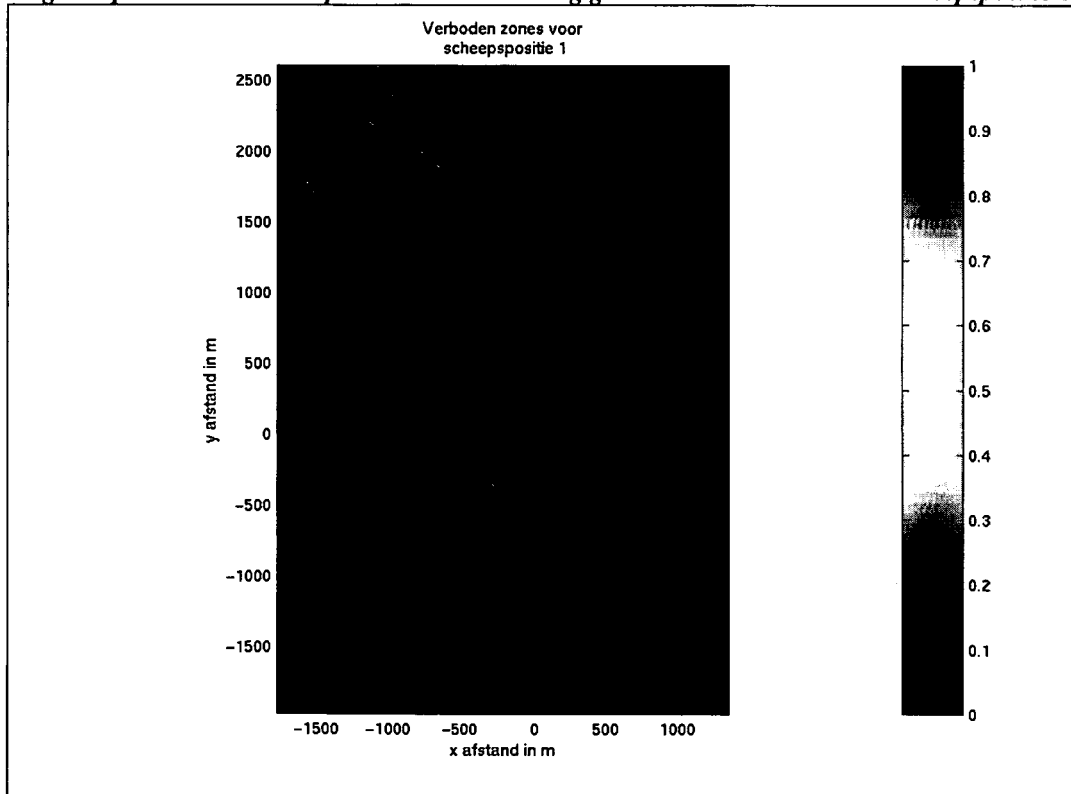


Fig. 65: Detail van de vorige figuur



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

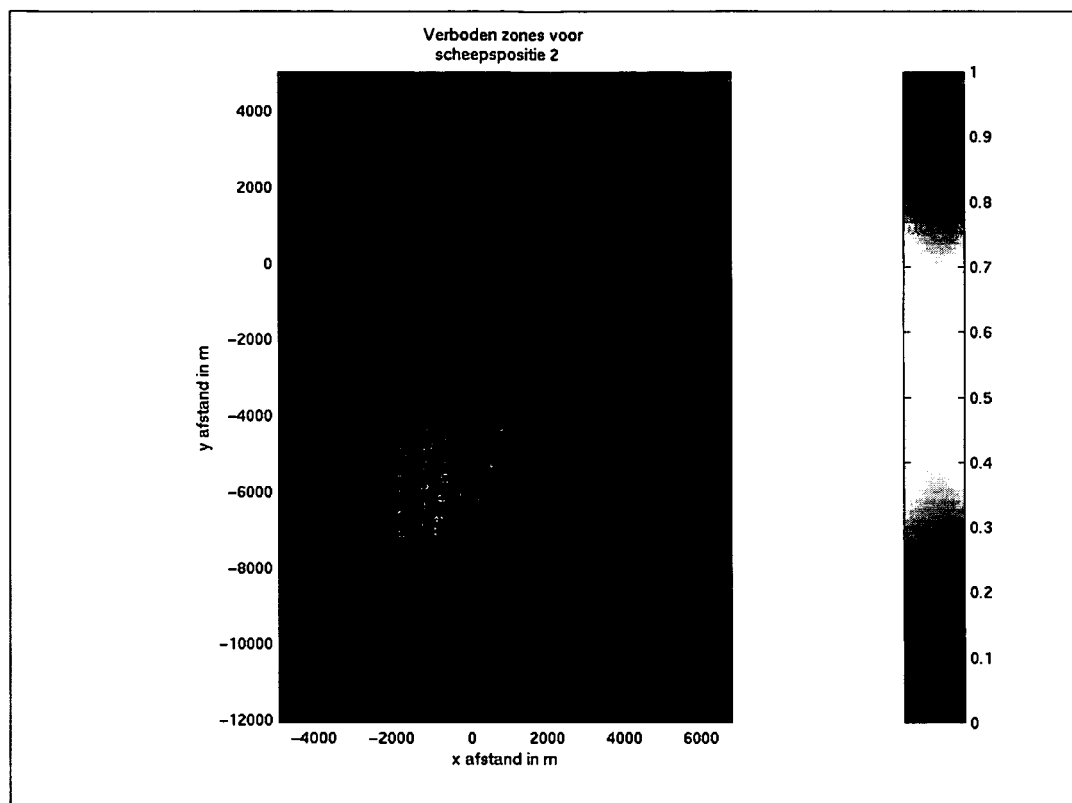


Fig. 66: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 2



Scheepspositie 2

De tweede scheepspositie ligt op dezelfde vaarroute als de vorige scheepspositie, maar dan ter hoogte van het windturbinepark van C-Power. Dit punt ligt in het verlengde van de middelste rij windturbines op een afstand van ongeveer 2 km achter de laatste windturbine.

Fig. 66 toont dat de straal van de cirkels van de “verboden zones” (d.i. de zone waar valse echo's kunnen optreden) al een heel pak kleiner is. De bovenste cirkel is de cirkel van het schip zelf (in paragraaf 1.3.2 werd reeds uitgelegd dat de tweede oorzaak eveneens aanleiding geeft tot een “verboden zone” rond de radar – hier dus het schip).

Scheepspositie 3

De afstand van de laatste beschouwde scheepspositie naar de laatste windturbines van het windturbinepark van Totalfina Eolia is nog een heel pak groter en dus zijn hier geen nadelige gevolgen te verwachten voor de werking van de radar aan boord van het schip.

Fig. 67 bevestigt deze stelling. De straal van de cirkels is nu zelfs zo klein dat er nergens meer een overlap is tussen 2 verboden zones. Zelfs de oplossing die eventueel het probleem van de eerste scheepspositie oplost zal hier geen invloed op hebben.

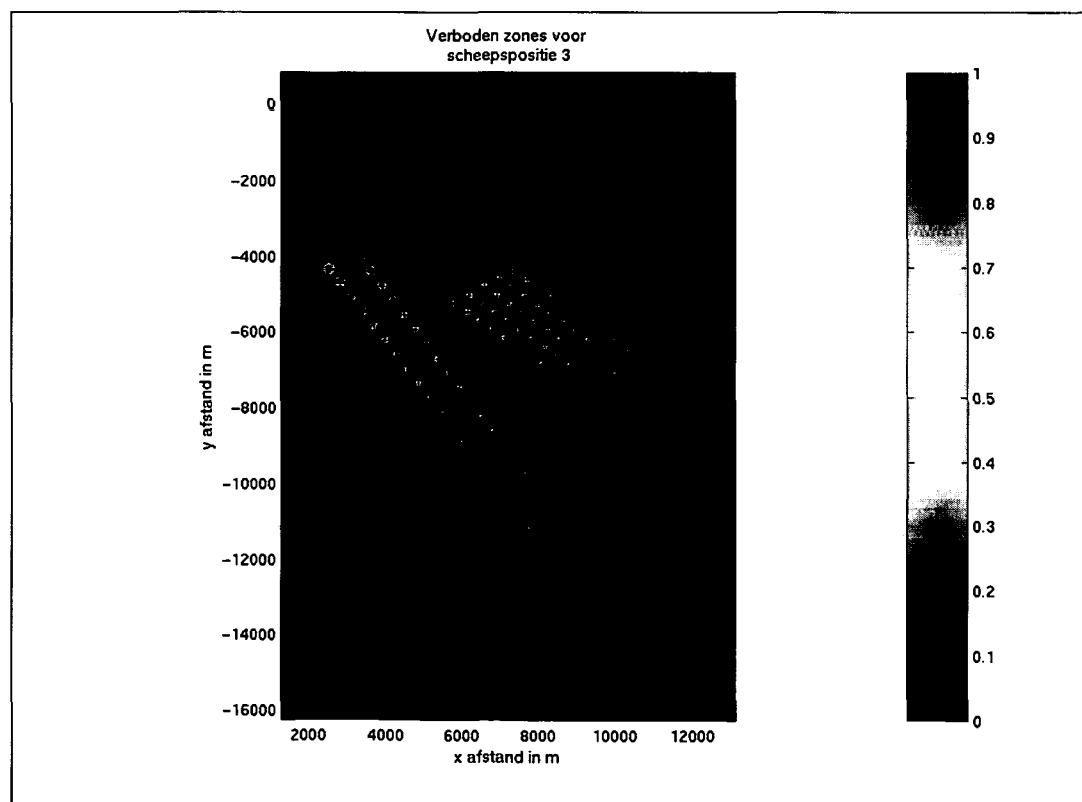


Fig. 67: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 3



3.2 MARIFONIE AAN BOORD VAN DE SCHEPEN

Gezien de zeer geringe afstanden tussen de zend- en ontvangstinstallaties (buiten het geval van Zeebrugge, waar de zender en ontvanger bijna 2 km uit mekaar liggen, liggen ze binnen enkele honderden meters van mekaar) kunnen we wat betreft de werking van de VHF communicatie aan boord van de schepen heel kort zijn. Indien de radar met de schepen een communicatie kan aangaan, is dit ook het geval voor de omgekeerde situatie. Het probleem is hier dus quasi volledig dual en dus volstaat het hier te verwijzen naar hoofdstuk 2.



4 INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE RADIO DIRECTION FINDER (RDF)

Wat zijn de effecten van reflecties op de verschillende windturbines op de nauwkeurigheid van de Radio Direction Finder(s)? Wanneer er geen reflecterende “obstakels” aanwezig zouden zijn, ontvangt een RDF ontvanger enkel een rechtstreeks signaal vanwege het schip en kan de RDF aan de hand van de richting van dit signaal de richting bepalen waar het schip zich bevindt. Het bestaan van enkel één signaal vanwege een bepaald schip is in de huidige situatie echter een utopie. De verschillende windturbines en transformatorcabines zullen via reflecties voor extra signalen (en nog belangrijker extra signaalrichtingen; zie

Fig. 68) zorgen in de RDF-ontvanger. Deze “stoorsignalen” hebben een verzwakking ten opzichte van het rechtstreekse (gewenste) signaal die gegeven wordt door:

$$p = \frac{\sigma_{BW} R_S^2}{4\pi R_W^2 R_{WS}^2}$$

waarin R_W de afstand van de windturbine/transformatorcabine in kwestie tot de RDF-ontvanger, R_{WS} de afstand van de windturbine/transformatorcabine tot het schip, R_S de afstand van het schip tot de RDF-ontvanger en σ_{BW} de bistatische radardwarsdoorsnede van de windturbine/ transformatorcabine bij de RDF-frequentie voorstellen.

Anderzijds bestaat de mogelijkheid dat deze “stoorsignalen” een andere invalshoek hebben dan het rechtstreekse signaal (meestal het geval met uitzondering van een situatie waarbij de drie elementen zijnde schip, obstakel en RDF-ontvanger op dezelfde lijn liggen). De RDF-ontvanger gaat alle signalen vectorieel optellen en het schip wordt dan in de richting verondersteld die met deze vectoriële som overeenkomt (

Fig. 68). De maximale hoekafwijking is de hoek tussen de werkelijke richting (groen) en de resulterende richting (blauw).

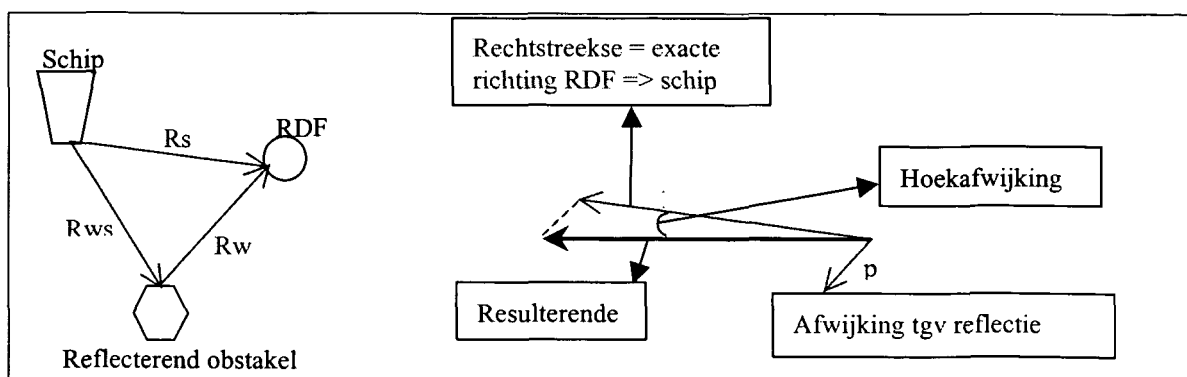


Fig. 68: principe en mogelijke afwijking van RDF



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)



Uit de bovenstaande figuur kan onmiddellijk afgeleid worden dat deze hoekafwijking het grootst zal zijn wanneer de richting schip-RDF (rechtstreekse) loodrecht staat op de richting obstakel-RDF (richting waaruit de reflectie ontvangen wordt), EN als beide ontvangen signalen in de RDF in fase of in tegenfase zijn. Wanneer de drie elementen op éénzelfde lijn liggen zal er slechts een effect gemerkt worden op de RDF wanneer de afstand zodanig klein is dat diffractie als storend element kan optreden. Aan deze voorwaarde is echter meestal voldaan door de minimale radarafstand.

Onderstaande tabel (Tabel 9) en figuur (Fig. 69) geven een overzicht van de Radio Direction Finders die in deze studie werden bekeken. Eigenlijk is enkel positie en gevoeligheid van ontvanger hier van belang. Indien een signaal onder de gevoeligheid van het systeem valt, kan het geen aanleiding meer geven tot een afwijking van de hoek in de RDF ontvanger. Merk op dat voor alle figuren met betrekking tot deze RDF ontvangers altijd zowel positieve als negatieve afwijkingen af te lezen zijn, naargelang de afwijking door de reflecties resulteert in een positieve of een negatieve hoekafwijking.

Locatie	UTM 31 – ED50		Frequentie [MHz]	Gevoeligheid Ontvanger [μ V/m]	Diameter [m]	Hoogte [m]
	Easting [m]	Northing [m]				
België						
Radarcentrale Zeebrugge	512 902	5 690 178	156,700	3	6,5	43,5
			156,800			
			156,225			
			156,275			
			156,475			
Nieuwpoort	480 651	5 667 058	156,800	3	6,5	33
			156,275			
			156,475			
Nederland						
Haamstede	547 424	5 729 312	156,700	3	6,5	50
			156,800			
			156,225			

Tabel 9:
overzicht en eigenschappen van de beschouwde Radio Direction Finders

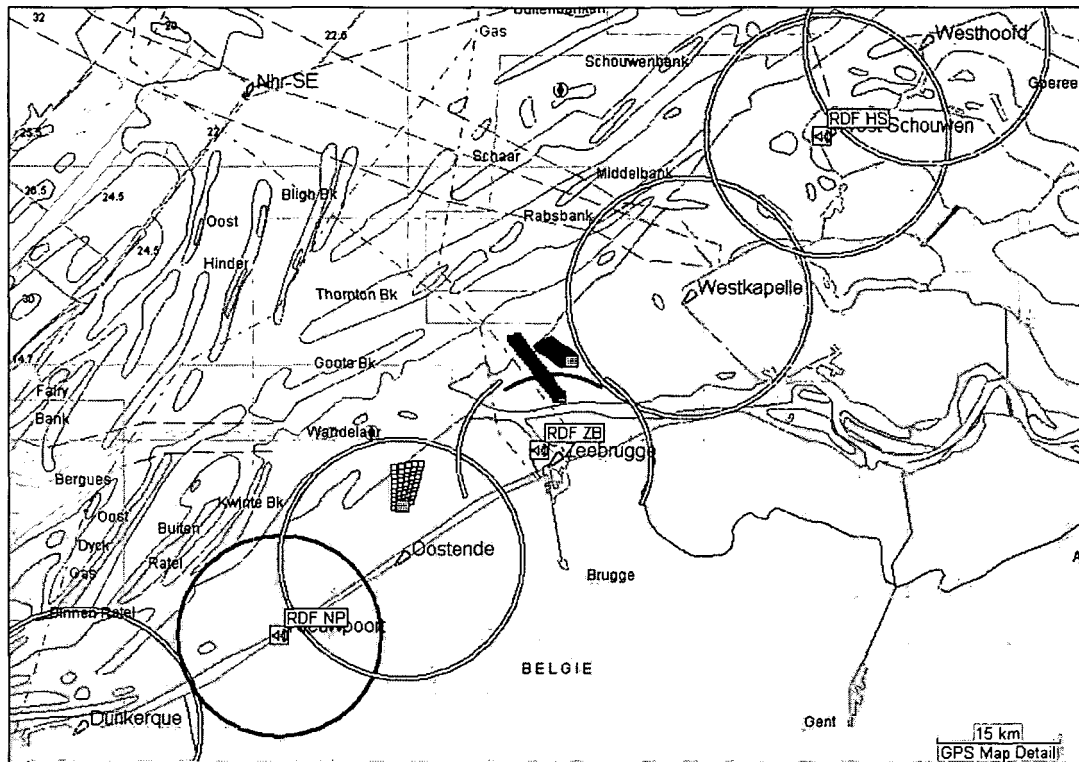


Fig. 69: overzicht van de beschouwde RDF ontvangers

Zeebrugge

In de onderstaande figuren (Fig. 70 en Fig. 71) wordt een beeld gegeven van de afwijking die elk punt teweegbrengt in de RDF ontvanger van de radarcentrale van Zeebrugge. Zoals reeds eerder opgemerkt is, zijn de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy, de parken die de grootste invloed zullen hebben op de werking van de RDF ontvanger van de radarcentrale van Zeebrugge, de waarden zijn echter zeer klein (in de orde van $\pm 0,005$ graden). Voor het windturbinepark van C-Power liggen deze waarden zelfs nog een fractie lager ($\pm 0,003$ graden). Door de grotere afstand is het vermogenaandeel van de verschillende reflecties kleiner en dus ook de hoekafwijking zal kleiner zijn.

Nieuwpoort

Voor de RDF ontvanger van Nieuwpoort geldt een eerder omgekeerde situatie (Fig. 72 en Fig. 73). Het windturbinepark van C-Power is nu het meest nabije en dus de oorzaak van de grootste afwijkingen (0,002 graden in Fig. 73). Ook aan de bovenzijde van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy zijn hoekafwijkingen van dezelfde grootte orde ($- 0,0013$ graden in Fig. 72).

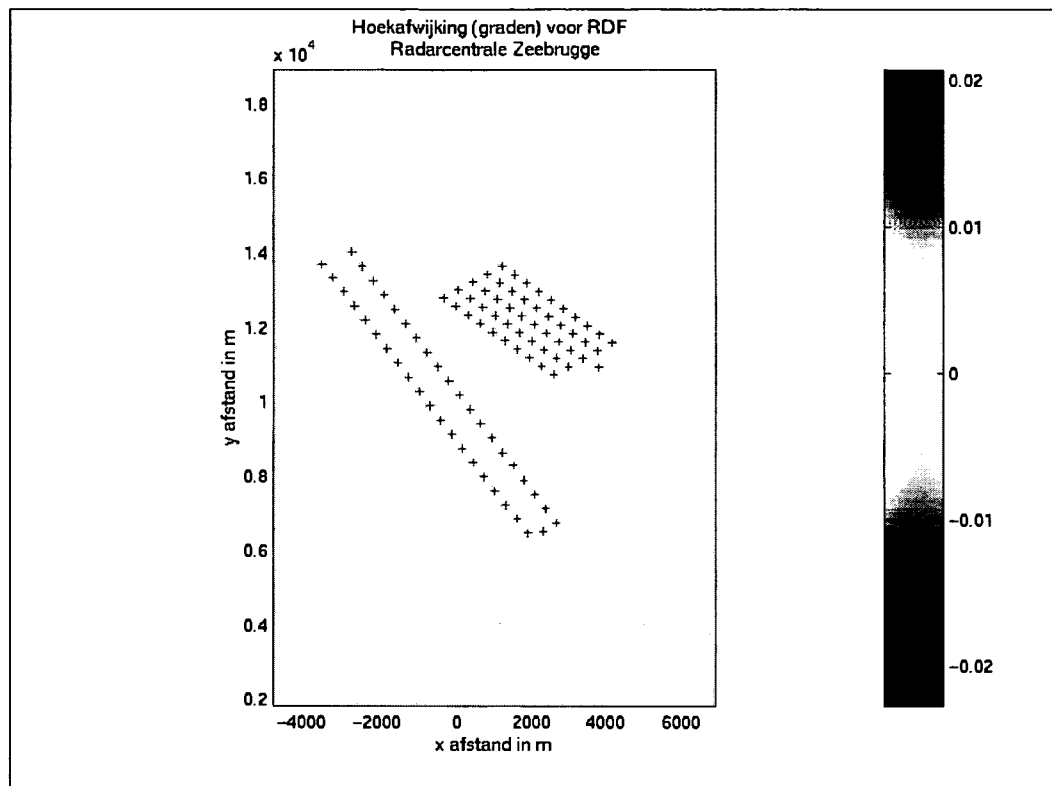


Fig. 70: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger in de radarcentrale van Zeebrugge voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

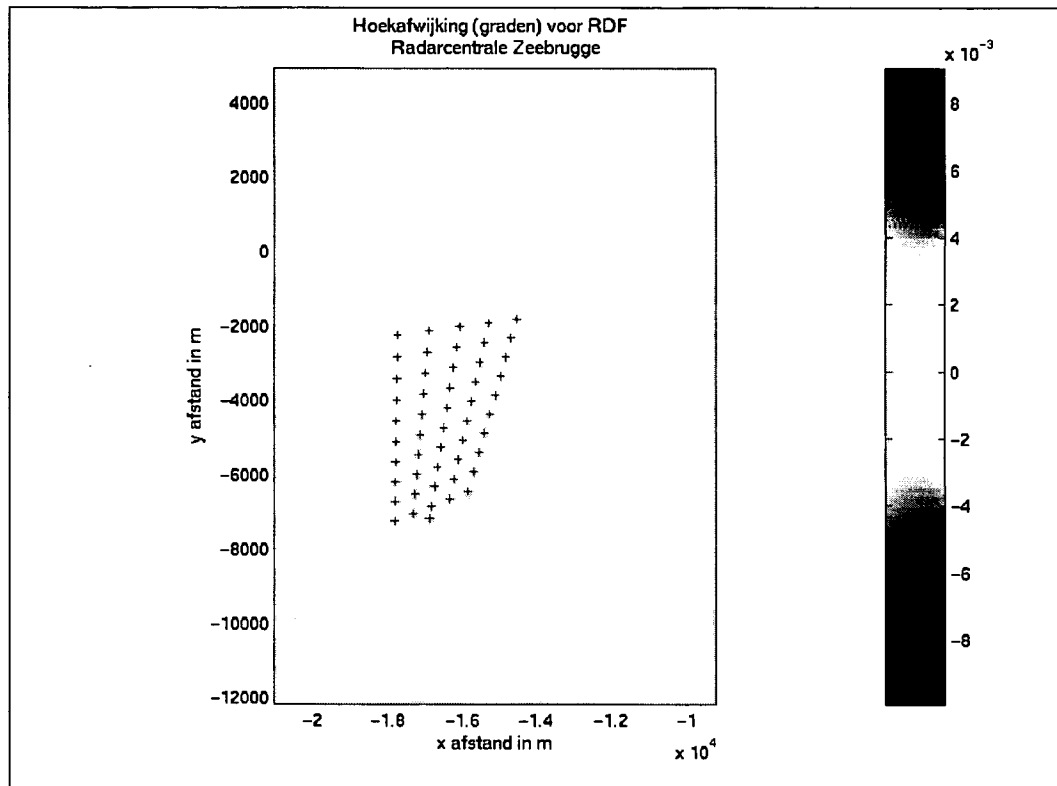


Fig. 71: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger in de radarcentrale van Zeebrugge voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power

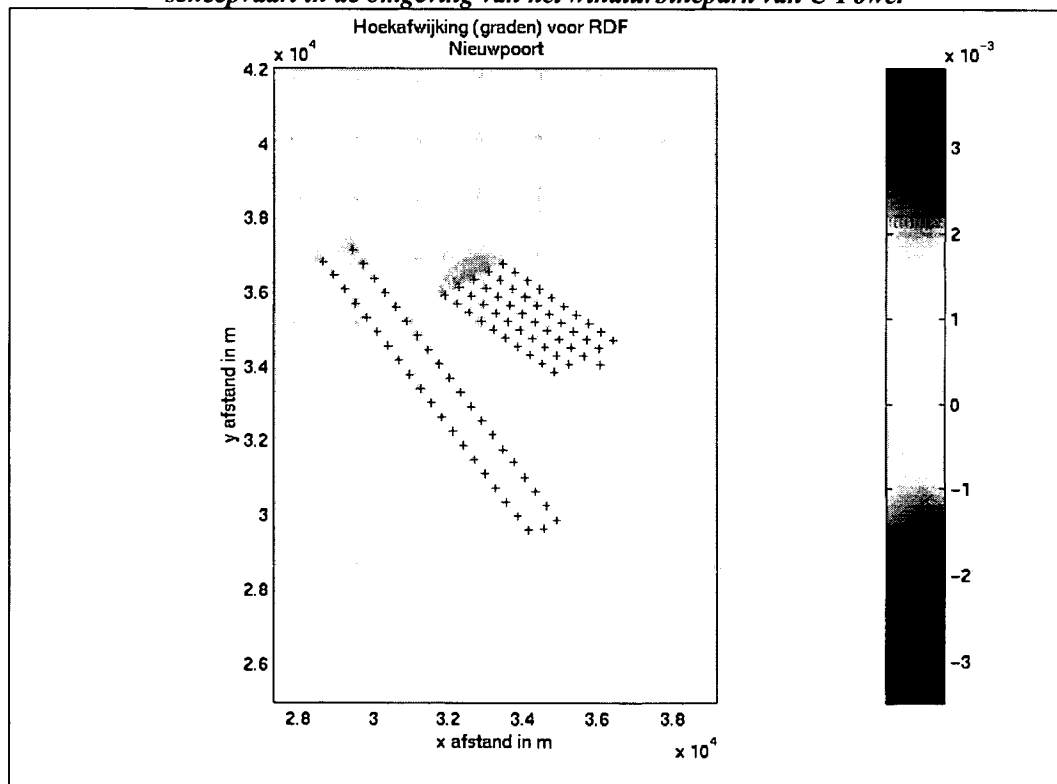


Fig. 72: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Nieuwpoort voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

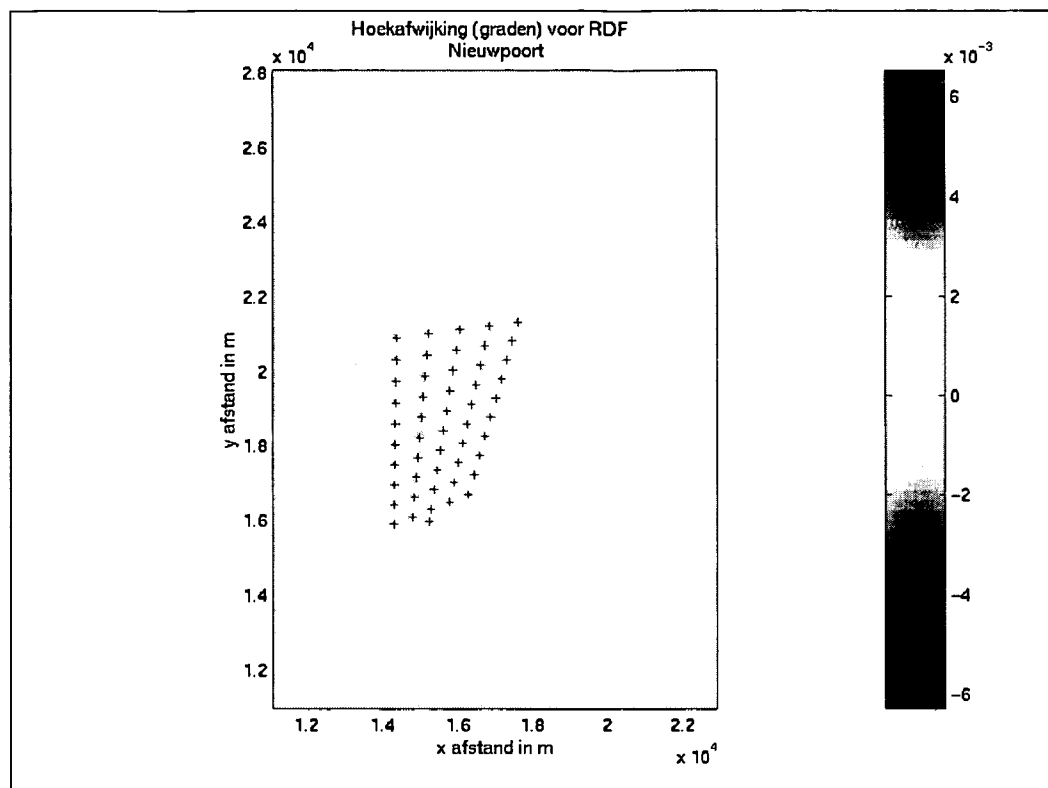


Fig. 73: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Nieuwpoort voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power
Haamstede

Andermaal zijn de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy de dichtst bij gelegen parken en dus verwachten we daar de grootste hoekafwijkingen t.g.v. de reflecties. Het vermogenaandeel in deze reflecties staat immers in relatie met de afstand die reflecties moeten afleggen ten opzichte van de rechtstreekse, en enige juiste, straal. Wanneer de afstand dus kleiner is, is het aandeel van de reflecties en dus ook de hoekafwijking in de RDF ontvanger groter. Voor de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy toont Fig. 74 ons maximale afwijkingen van 0.0015 graden (aan de noordzijdje van het windturbinepark van Seanergy) en -0,001 graden (aan de zuiderzijdje). Het windturbinepark van Totalfina Eolia ligt net iets verder en heeft daarom op gelijkaardige plaatsen een iets kleinere hoekafwijking. In Fig. 75 zien we dat de hoekafwijkingen voor scheepvaart in de buurt van het windturbinepark van C-Power ongeveer de helft lager liggen (tussen + en - 0,0005 graden).



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

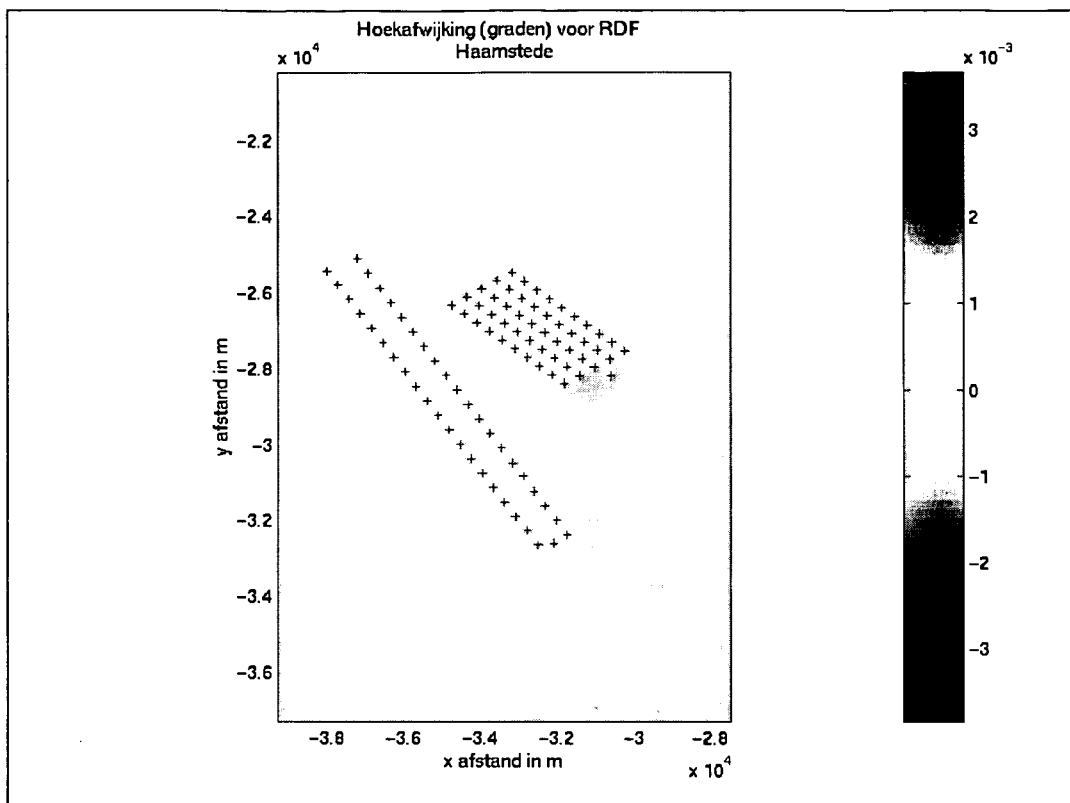


Fig. 74: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Haamstede voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

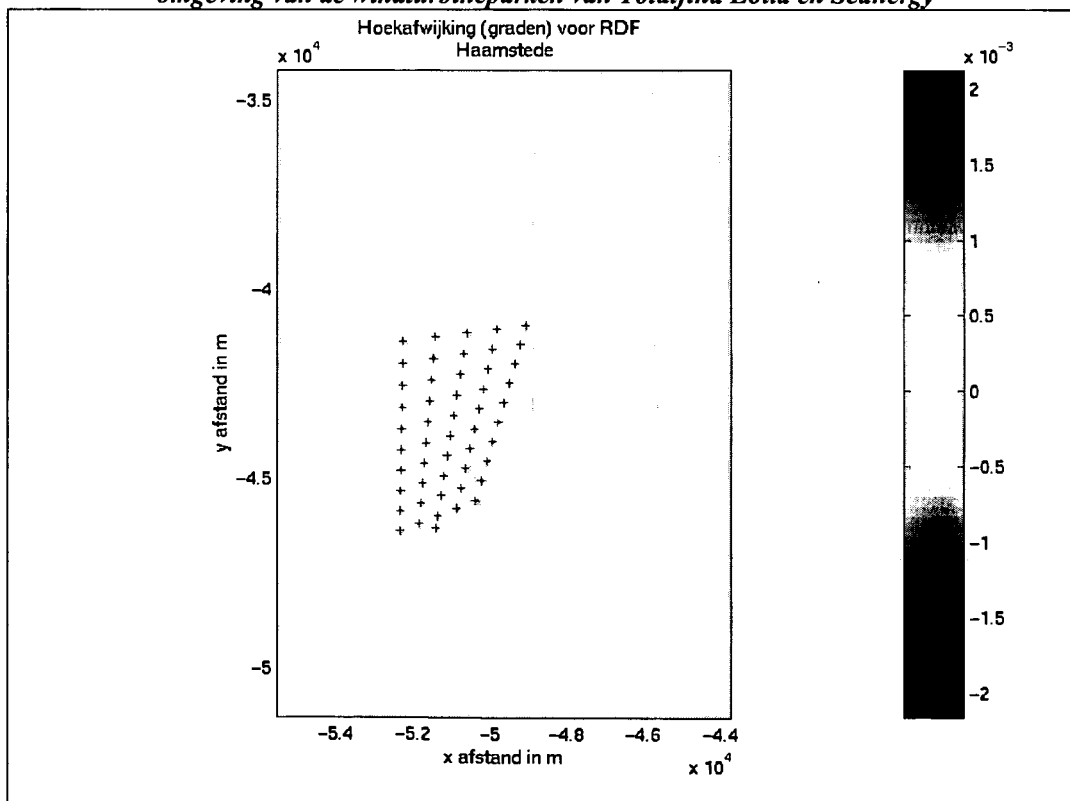


Fig. 75: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Haamstede voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Besluit

Vermits de nauwkeurigheid van de RDF systemen rond de $0,5^\circ$ schommelt is de invloed van de turbineparken verwaarloosbaar. Vermits de fout nooit groter is dan $0,01^\circ$ impliceert dit enkel dat de totale nauwkeurigheid van het systeem verkleint, en dat de totale systeemfout aldus kan oplopen tot $0,51^\circ$. Het bereik van het systeem wordt in dezelfde mate beïnvloed als de marifonie.



5 INVLOED OP DE OPTIMALE WERKING VAN DE DGPS REFERENTIEZENDER TE OOSTENDE

Voor de berekeningen werd de volledige hoogte van elke turbine genomen, d.w.z. 130 m, zijnde 80 m afkomstig van de toren en 50 m afkomstig van de wieken. Voor de transformatorcabines werden hoogtes van 24 m (= 15 m (platform) + 9 m (hoogte cabine) genomen en dezelfde afmetingen als in de radarstudie (ook voor de windturbines). De geometrie voor deze studie wordt schematisch weergegeven in Fig. 76.

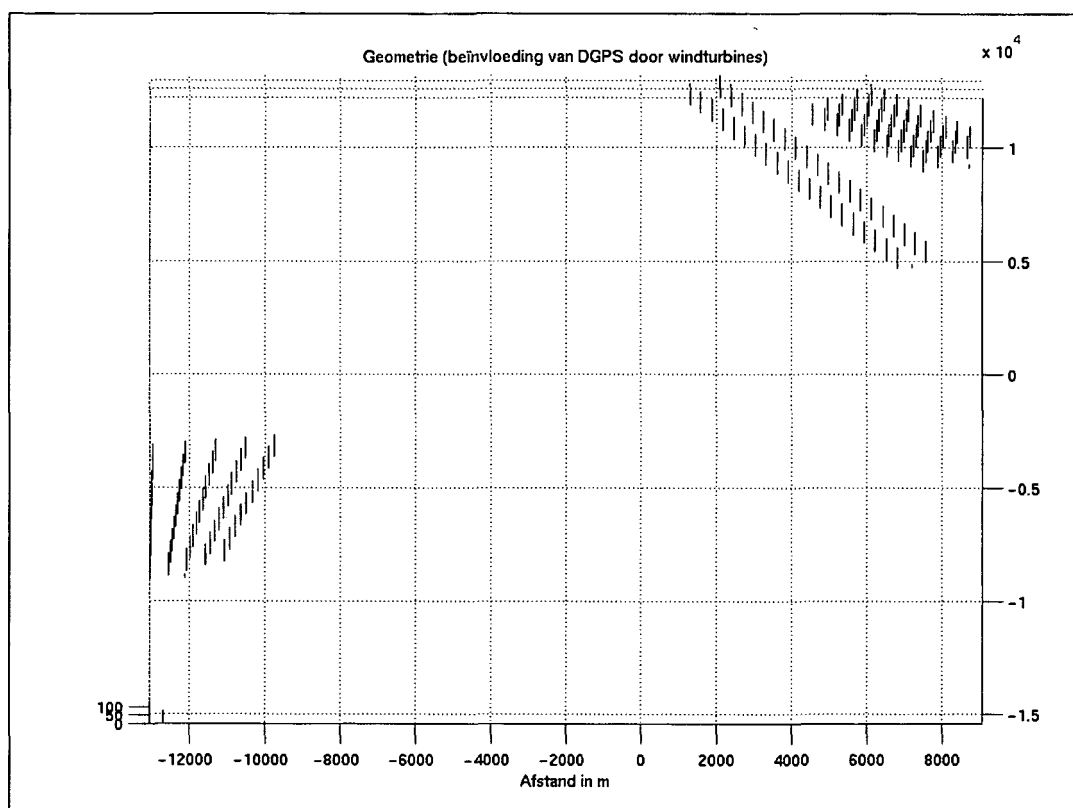


Fig. 76: geometrie van de DGPS antenne en het turbinepark.

Gezien de lage frequentie bevinden alle windturbines en de zendantenne zich in elkaars nabije-veld (de golflengte bij 312 kHz is inderdaad 960,9m). Daarom werden de berekeningen uitgevoerd met NEC2, een programma dat zo exact mogelijke alle velden berekent. Dit is daarom redelijk rekenintensief, hoewel het aantal segmenten (3 per turbine en per transformatorcabine plus 3 voor de zendantenne, dus in totaal 432 segmenten) nog beperkt bleef. De stroomverdelingen op deze segmenten zijn stuksgewijs sinusoidaal. Met behulp van een Galerkin methode stelt men een matrix op, waarvan de oplossing de stroomverdelingen op de antennesegmenten zijn. Eens deze gekend kan men zowel het nabije-veld als het verre-veld berekenen.



De eerste berekeningen zijn uitgevoerd in de veronderstelling dat het wateroppervlak volmaakt geleidend is. Aldus kan men uit het verre-veld de winst van de DGPS antenne berekenen (Fig. 77). Tot onze grote verbazing merkt men zelfs in de richting van het dichtstbijzijnde park (C-power, rond en voor 90°) een toename van de winst van de antenne op.

Om dit merkwaardig verschijnsel te verklaren hebben we ons verplicht gezien het nabije-veld uit te rekenen in een zone, die de windturbineparken omvat, met een resolutie van 1001x1001 punten.

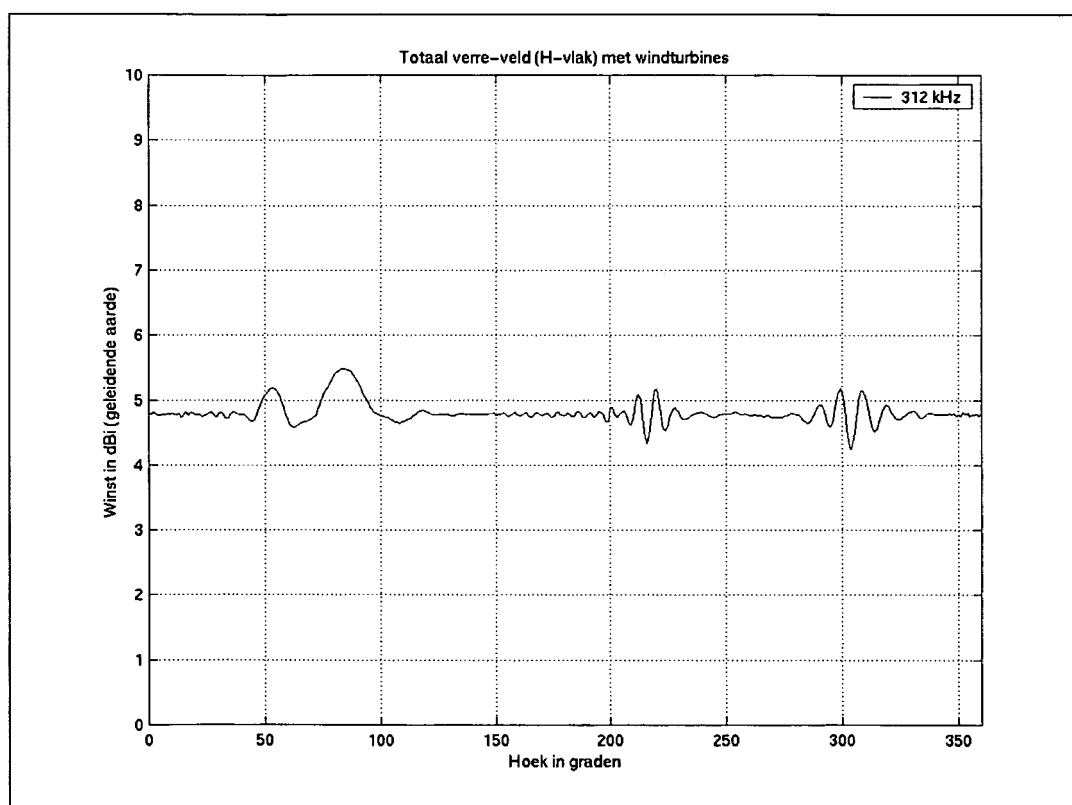


Fig. 77: winst van de DGPS antenne in het verre veld (op grote afstand)

Het resultaat is te zien in

Fig. 78. Indien we goed kijken merken we op dat de turbines zelf, die een kortsluiting vormen voor het vertikaal veld, in hun onmiddellijke omgeving het veld verzwakken (ze komen allen als donkere puntjes op de figuur voor). Dit is ook het geval voor de transformatorcabines, die inderdaad nog kleiner en breder zijn om te resoneren en dus duidelijk het veld afschermen in hun onmiddellijke omgeving. Nu vormen de turbines een (parasitair) antennerooster, die in de richting van het park het veld zelfs versterken. De verhoging van het veld in de richting van het dichtste turbinepark is hier duidelijk te zien aan de uitstulping van de contouren van gelijke veldsterkste, die op zeer grote afstand overeenkomen met het patroon (of de winst van de antenne) uit Fig. 77.

Nu kunnen we ook de variaties van de winst rond 220° en 300° graden



verklaren als de interferentie tussen de golf, uitgezonden door de zender, en die door de parken gereflecteerd wordt. Aldus zullen de parken op zee geen negatieve invloed hebben. Enkel op land zou het bereik van de zender van Oostende iets kunnen verkleind worden.

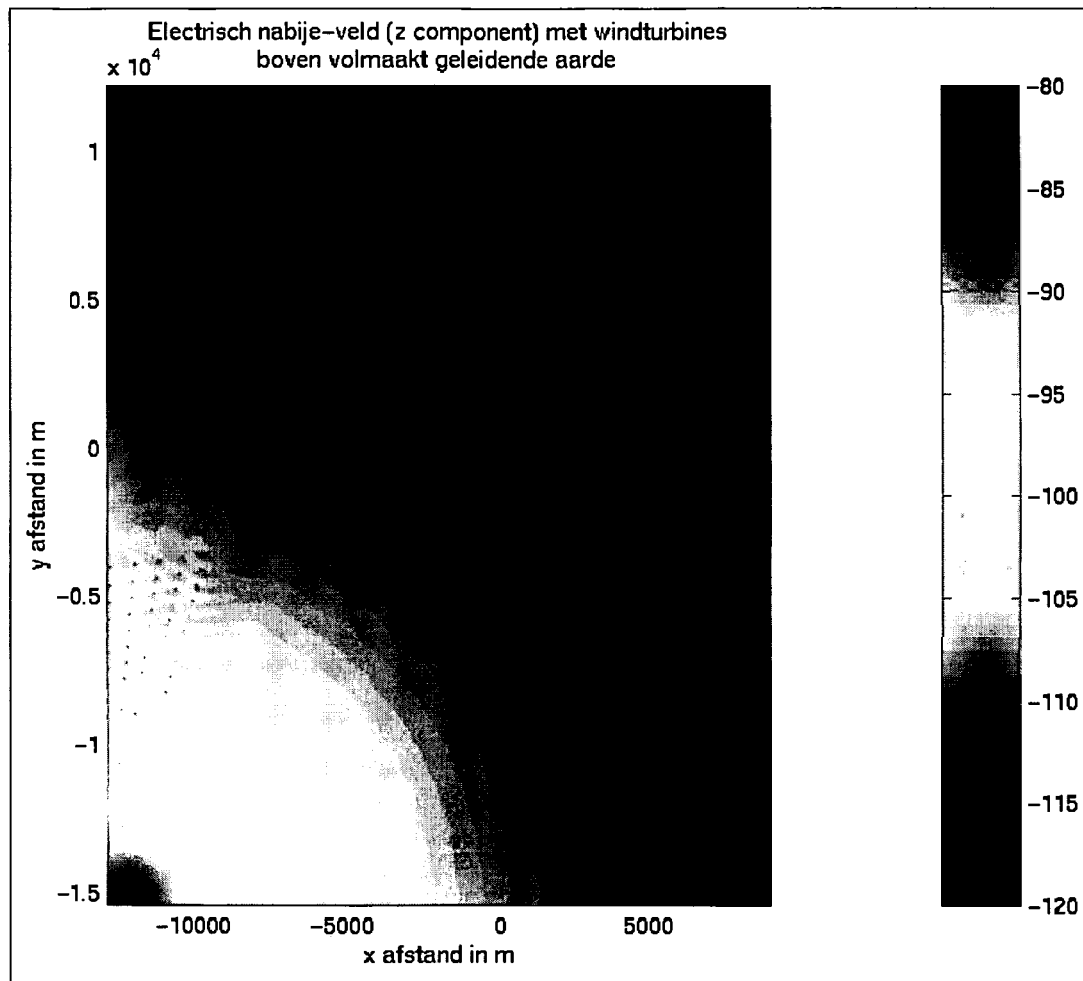


Fig. 78: nabije veld van de zendantenne indien de aarde volmaakt geleidend verondersteld is

Indien we voor zeewater een relatieve permittiviteit van 70 en een conductantie van 5 S/m veronderstellen (waarden geldig tot 1 GHz), dan bekomen we een gelijkaardige figuur, die echter op het uiteinde van de grafiek (32 km van de zender) 9,4 dB lager ligt door de verzwakking van de watermassa (

Fig. 79). De invloed van de windturbines is echter gelijkaardig aan die in het geval met een volmaakt geleidende aarde.

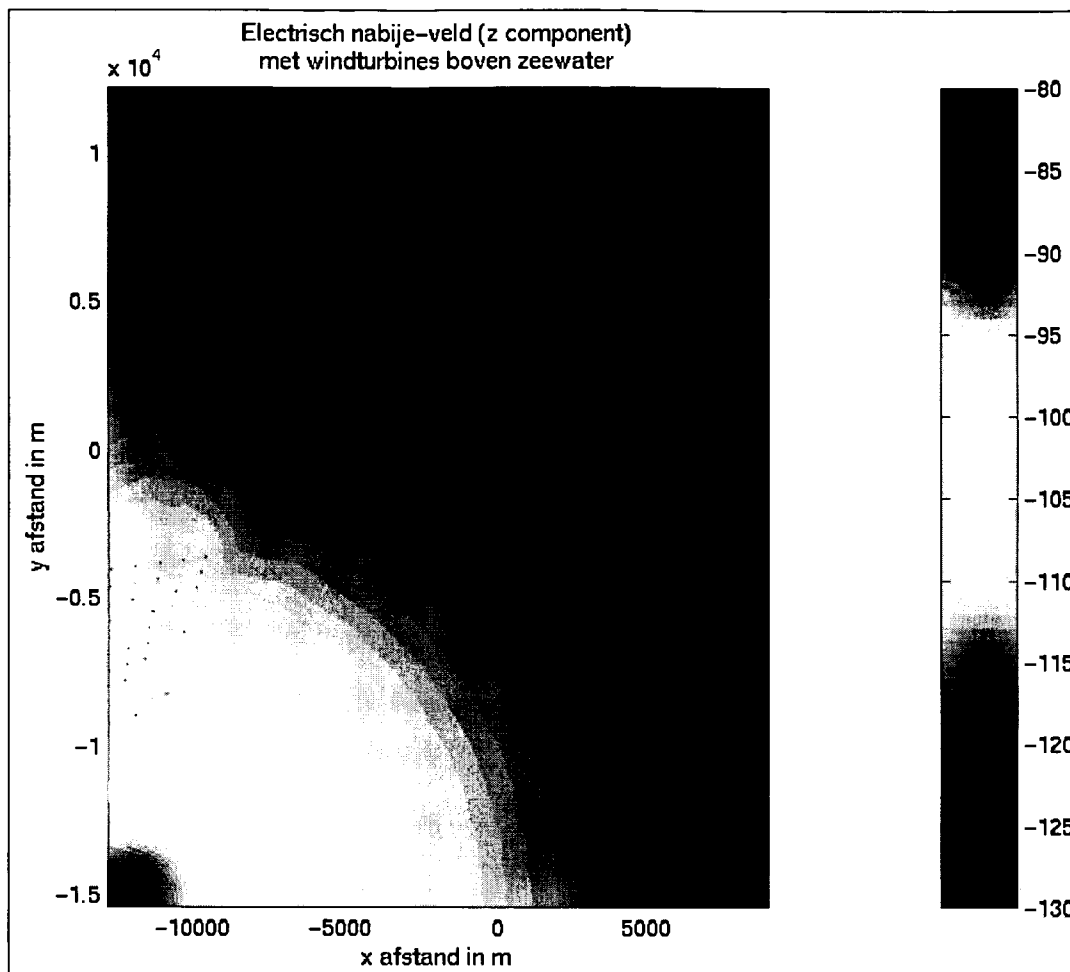


Fig. 79: nabije veld van de zendantenne in de veronderstelling dat de aarde volledig bestaat uit zeewater.

Besluit

De DGPS signalen zullen, tenzij in de onmiddellijke omgeving van de turbines (enkele 10-tallen meter), slechts marginaal (enkele dB) beïnvloed worden door de turbineparken op een kleine afstand (50 km) van de zender. Het wordt ten stelligste afgeraden enkel op (D)GPS te varen in de onmiddellijke omgeving van de turbines. Inderdaad, zelfs al zouden de laatst ontvangen differentiële correcties nog geldig blijven, kunnen in deze studie niet onderzochte reflecties van de satelliet signalen tegen de turbines de GPS satelliet signalen en dus de daaruit berekende positie zeer ernstig beïnvloeden op korte afstand rond deze turbines.

Ontvangst op zeer grote afstanden (>150 km) zal eerder afhangen van de toestand van de ionosfeer dan van de aanwezigheid van de turbineparken, die in hoogte minder belangrijk zijn dan het reliëf op aarde.



6 INVLOED OP DE WERKING VAN HET AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS)

Het Automatic Identification System is een toepassing die momenteel nog niet geïmplementeerd is in de diensten van de SRK, maar men denkt er wel aan om het in de toekomst actief te maken. Om toch een goed beeld te krijgen van deze toepassing zullen we hier eerst enkele specificaties van het systeem geven, dan volgt een korte berekening van het bereik en dan gaan we aan de hand van enkele figuren aantonen dat aan de eisen van dit systeem is voldaan.

6.1 SPECIFICATIES

In [AIS] hebben we enkele concrete gegevens over dit systeem gevonden:

- Een dekkingsgebied 20 zeemijl uit de kust wordt voorzien, d.w.z. dat we langsheen de kust best om de ca. 30 zeemijl een nieuwe AIS post plaatsen, met een bereik van ca. 25 zeemijl, om deze toepassing over de gehele kustlijn te kunnen implementeren.
- 2 AIS VHF kanalen worden gebruikt: het eerste kanaal, logischerwijs AIS 1 genoemd, bij een frequentie van 161,975 MHz en het tweede kanaal, even logisch AIS 2 genoemd bij een frequentie van 162,025 MHz.
- Enkele cijfergegevens (AIS installatie aan boord van schepen):
 - Antennetype = omnidirectionele antenne
 - Antennewinst = 0 dBi
 - Antennehoogte = 10 m
 - Zendvermogen = 2 W (+33 dBm)
 - Gevoeligheid van de ontvanger = -110 dBm ($0,7 \mu V$)
 - Symbol Error Rate bij deze gevoeligheid = 10^{-2}
 - Bitrate = 9,6 kbps

Aan de hand van deze gegevens kunnen we in de volgende paragrafen reeds een grove schatting maken van de haalbaarheid en/of de invloeden van de verschillende windturbineparken op deze toepassing.



6.2 ENKELE ALGEMENE KENMERKEN

Bereik

Wanneer we uitgaan van de gegevens uit de vorige paragraaf kunnen we in eerste instantie het bereik van deze toepassing gaan berekenen. Een eenvoudige formule, de radiovergelijking van Friis, levert ons, gecorrigeerd met behulp van de vlakke aarde benadering, een bereik van 83,2 km. Dus andermaal zal het de beperkte zichtbaarheid (omwille van de kromming van de aarde) zijn die de beperkende factor is voor deze toepassing.

Wanneer we ervan uitgaan dat we de vaste AIS ontvangers op torens zetten, die een evenwaardige hoogte hebben als die van de radars, ca. 40 m, dan zal het bereik door de kromming van de aarde beperkt worden tot een 35-tal km (ca 20 zeemijl). Om een dekking van 20 zeemijl evenwijdig met de kust te bekomen bevelen we een hogere masthoogte aan (ongeveer 80 m).

Signaal-ruisverhouding

Voor deze berekeningen moeten we een aantal aannames maken:

- De gebruikte bandbreedte is anderhalve keer de bitrate (BPSK is aangenomen). In de onderstaande berekening geldt dus $B = 1,5 \times R = 14,4$ kHz.
- Bit Error Rate gelijk gesteld aan de Symbol Error Rate, maar die ligt vermoedelijk een heel pak lager. We kunnen dit dus opnieuw zien als een worst case scenario.

Het ruisvermogen kunnen we zeer eenvoudig berekenen aan de hand van $N = kT_0B$, waarin k de constante van Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T_0 de referentietemperatuur (290 K) en B de bandbreedte van deze communicatie weergeven. Invullen geeft een ruisvermogen van $5,765 \times 10^{-17}$ W of -162,39 dBW.

Voor de gegeven Bit/Symbol Error Rate kunnen we nu aan de hand van Fig. 80 bepalen wat het benodigde signaal-ruisverhouding is voor deze foutkans. In dit geval levert dit een minimaal signaalruisverhouding van minimaal 5 dB (slechtst mogelijke geval op Fig. 80). Hieruit volgt dat het signaal minstens -157,39 dBW moet bedragen. Hieraan is steeds voldaan (zie berekening van het bereik waar -110 dBm of -140 dBW werd gebruikt).

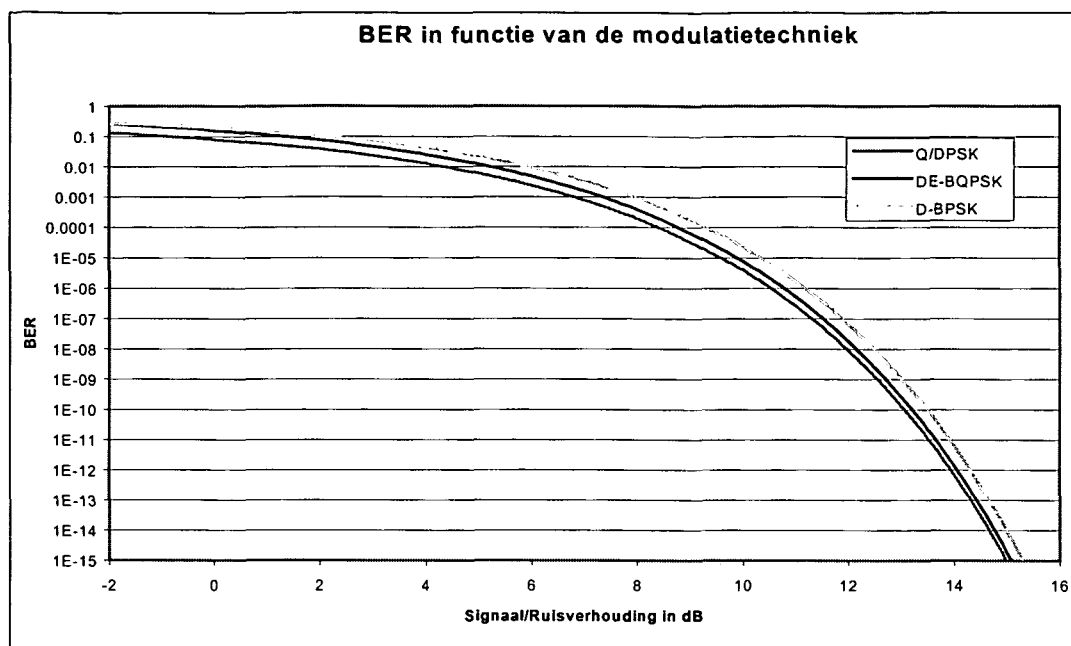


Fig. 80: BER in functie van signaal-ruisverhouding (dB)

6.3 INTERSYMBOOLINTERFERENTIE (ISI) EN DELAYSPREAD

Een laatste paragraaf in deze bespreking behandelt het probleem van mogelijke delayspread en de daarmee samenhangende intersymboolinterferentie. Om een volledig duidelijke boodschap over te brengen is het noodzakelijk dat de ontvangst van twee opeenvolgende symbolen niet overlappen, d.i. wat men intersymboolinterferentie noemt.

Dit probleem kan men verhelpen door de snelheid van het doorsturen van data aan te passen aan de delayspread. Deze delayspread geeft het kwadratisch gewogen gemiddelde van het tijdsverschil tussen elk signaal dat op de ontvanger en het gemiddelde signaal. Zoals in

Fig. 81 is weergegeven is het echter niet alleen het tijdstip dat een belangrijke rol speelt in de bepaling van deze delayspread, maar eveneens het ontvangen vermogen van dat tijdstip speelt een belangrijke rol.

Neem het voorbeeld van

Fig. 81. Indien we bij een dergelijk ontvangstopatroon ISI willen vermijden mag het volgende bit/symbool pas aankomen wanneer het ontvangen vermogen beneden de threshold-grens valt. Het versturen van één bit/symbool duurt in dit geval $T_5 - T_0$ seconden en dus is de maximale bit/symbool rate gelijk aan het omgekeerde van dit verschil.

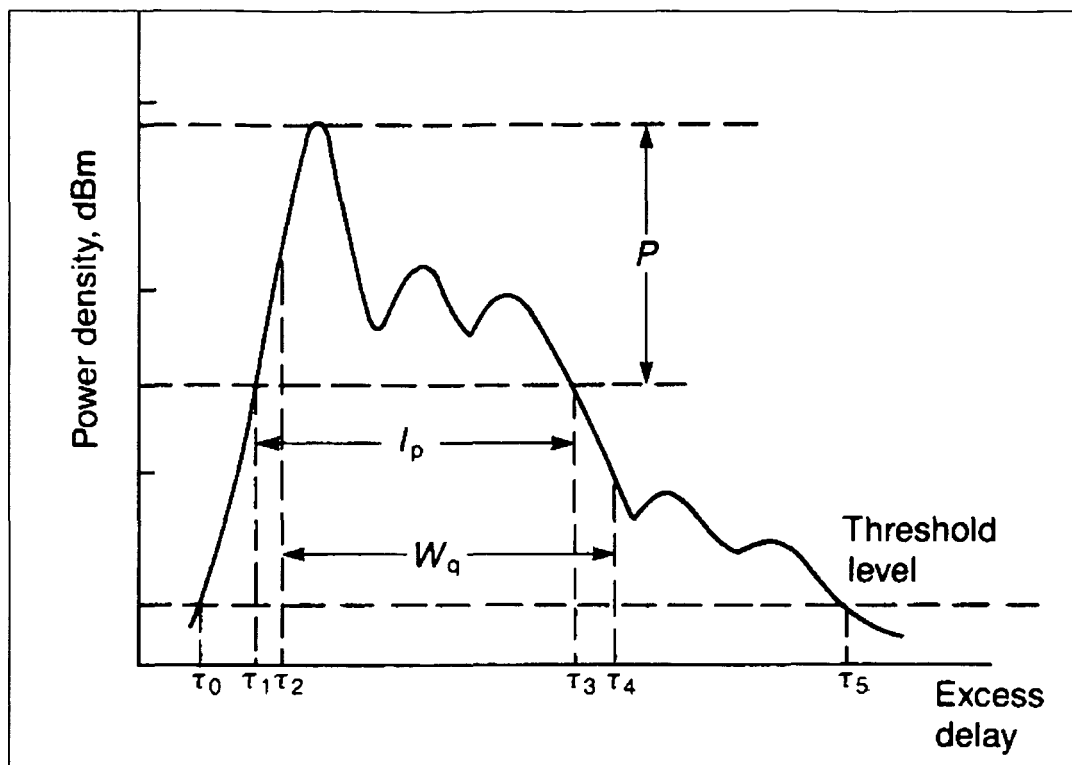


Fig. 81: voorbeeld van ontvangst van éénzelfde symbool (vermogen vs. tijdstip van ontvangst)

Hoger vermelde redenering toepassen op de AIS toepassing zou ons het volgende geven: bij een symbool rate van 9,6 kbps mag de delayspread maximaal 104,16 μs bedragen. Omdat dit deze toepassing nog niet geïmplementeerd is hebben we in eerste instantie de AIS installaties op dezelfde plaatsen als de marifonie-installaties geplaatst. Voor ontvangst mag dit geen probleem vormen, voor het zenden moeten we er echter voor zorgen dat de marifoniesignalen, ongeveer dezelfde frequentieband gebruiken, geen hinder (intermodulatieprodukten) ondervinden van deze toepassing. Daarom zouden de AIS zendantennes beter met de zendantennes van marifonie gecoloeerd worden.

We verwachten dat de delayspread het grootst zal zijn aan de “voorzijdes” (de kant van de AIS ontvanger) omdat daar het vermogen in de verschillende reflecties nog een belangrijkere rol speelt dan achteraan de parken.



Oostende

Voor het windturbinepark van C-Power (Fig. 82) bevindt de grootste delayspread (ca. 200 ns) zich aan de voorzijde van het windturbinepark. Deze waarde is echter totaal geen probleem omdat ze bit/symbool rates toelaat tot 5 Mbps, terwijl AIS slechts 9,6 kbps vereist. In de rechterbovenhoek van deze figuur is opnieuw een toename van de delayspread op te merken. Deze is echter afkomstig van de uitdeining van het maximum (300 ns – 3,33 Mbps) ongeveer halverwege de meest westelijke rij van Totalfina Eolia (Fig. 83).

Zeebrugge

Voor Zeebrugge ontstaat een omgekeerde situatie. Nu is het ten oosten van het windturbinepark van C-Power (Fig. 84) dat een maximale delayspread ontstaat die ongeveer 300 ns bedraagt. Toch is dat nog ruimschoots voldoende voor de AIS toepassing. In de buurt van de twee andere windturbineparken ontstaat een grote vlek van maximale delayspread (ca. 270 ns in

Fig. 85), die zowat de helft van het park van Totalfina Eolia en ongeveer één derde van dat van Seanergy bevat.

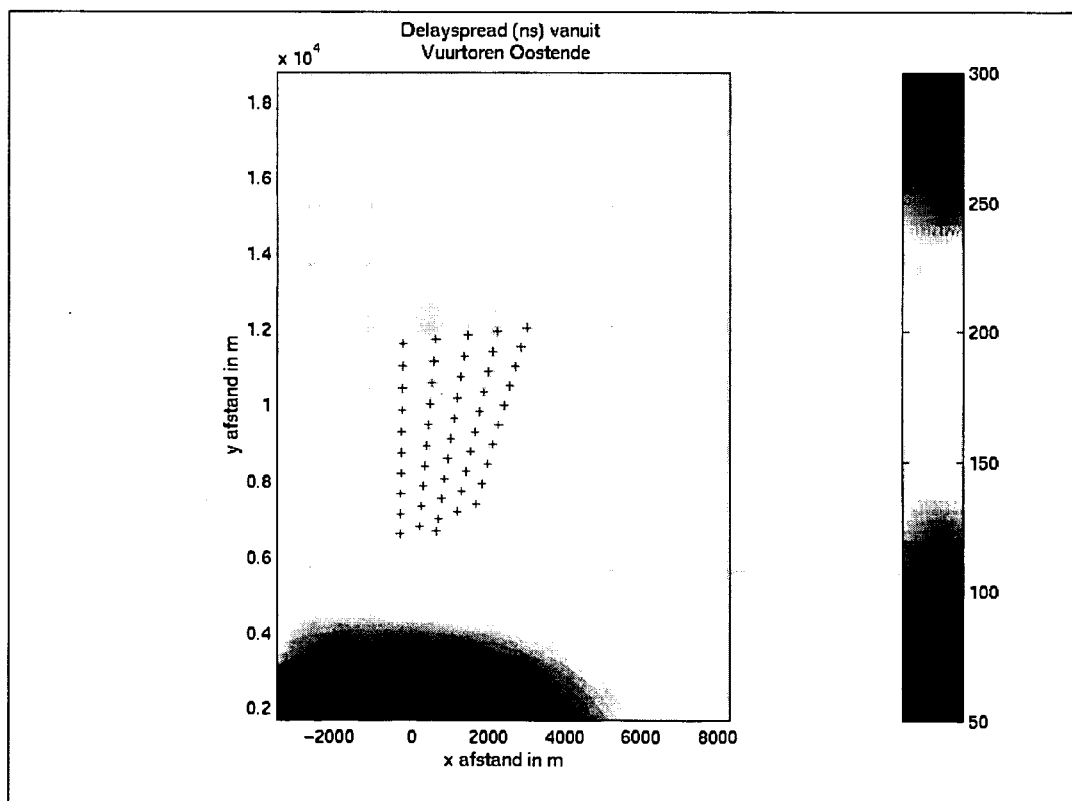


Fig. 82: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Oostende in de omgeving van het windturbinepark van C-Power



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)

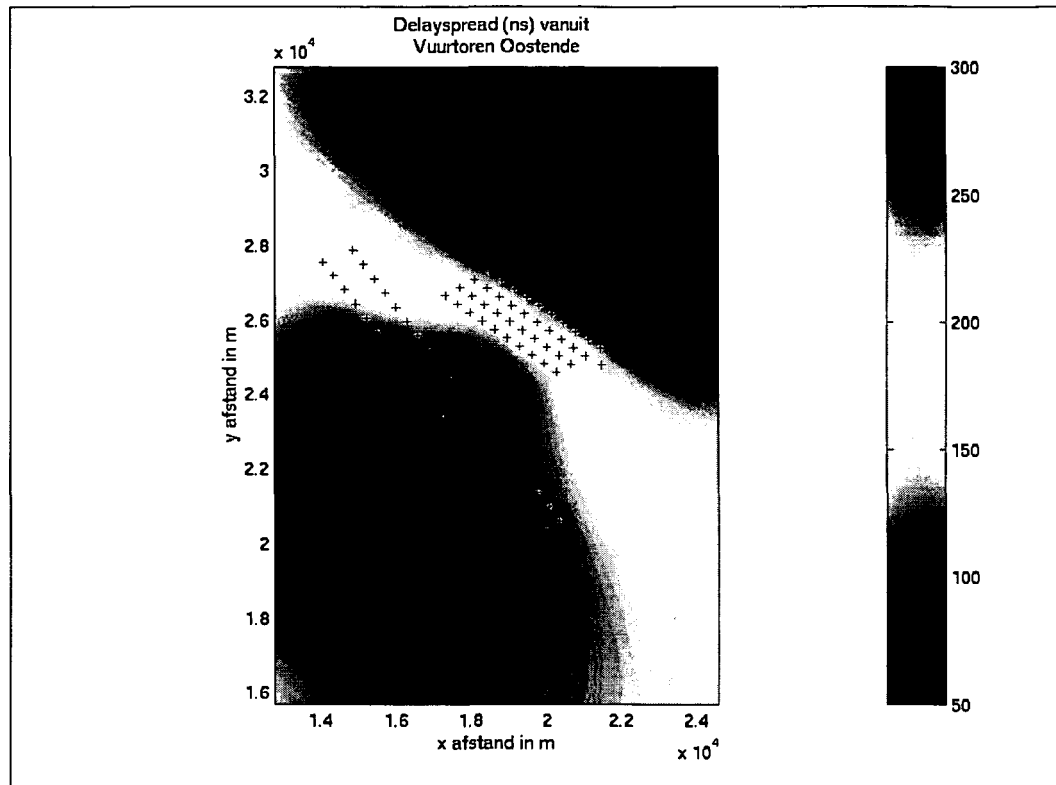


Fig. 83: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Oostende rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

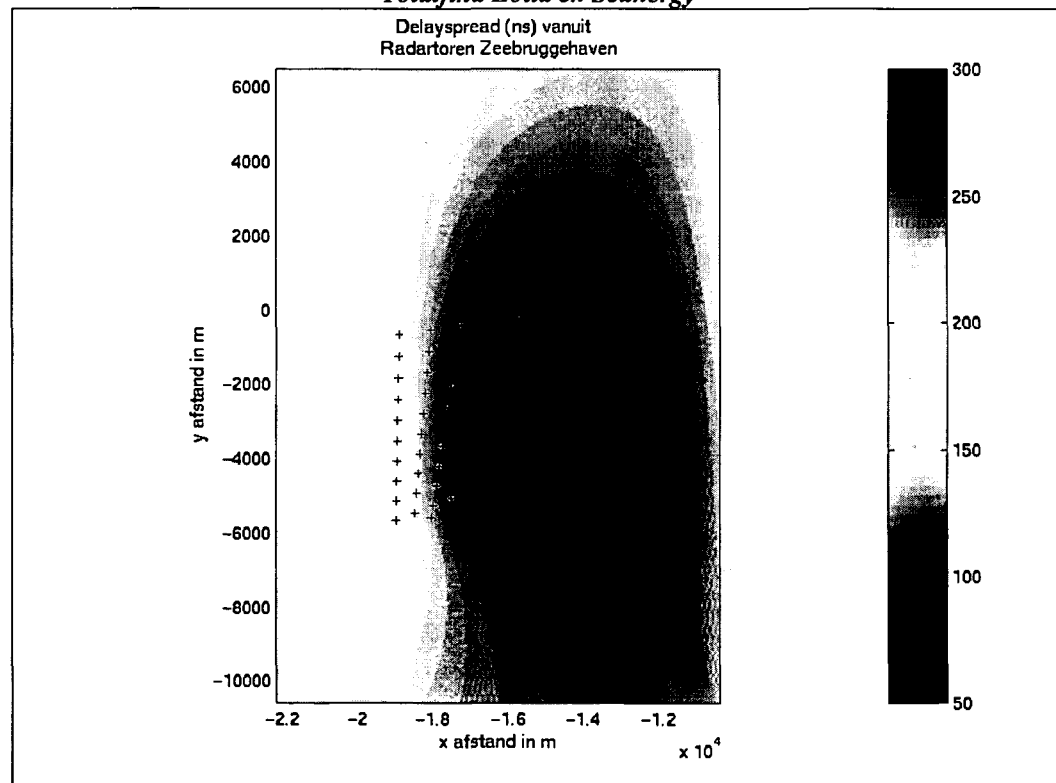


Fig. 84: delayspread (ns) vanuit de radartoren van Zeebrugge in de omgeving van het windturbinepark van C-Power

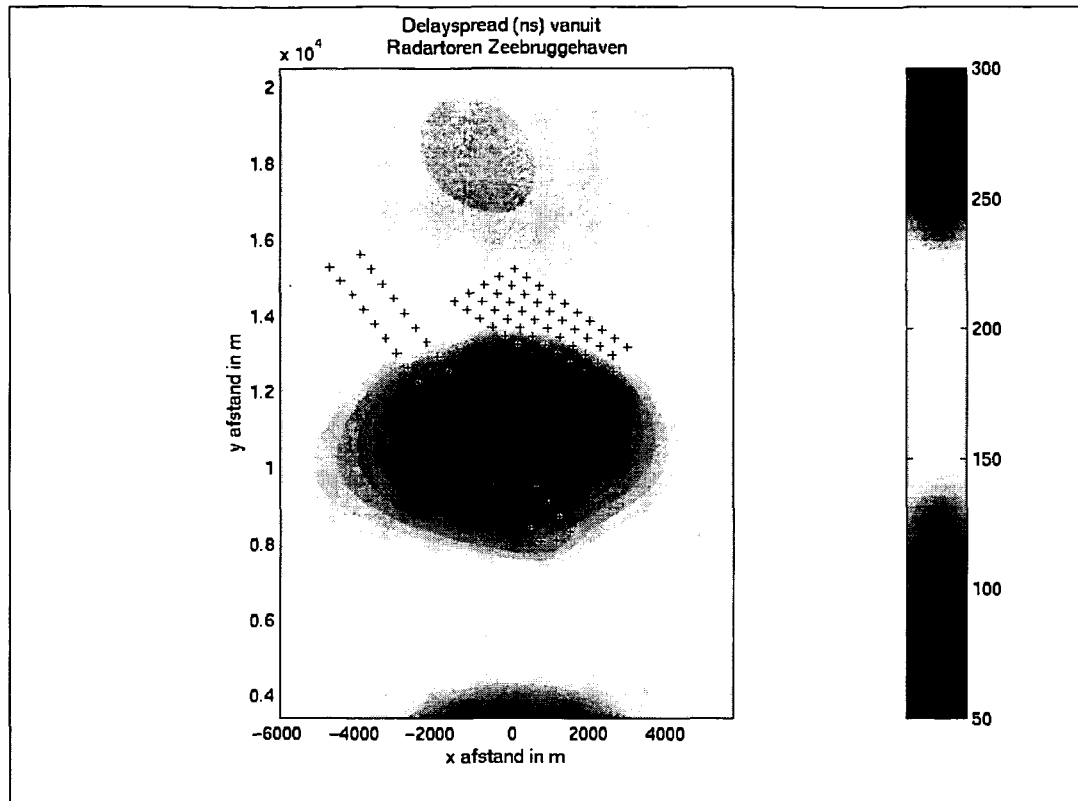


Fig. 85: delayspread (ns) vanuit de radartoren van Zeebrugge rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

Westkapelle

Ook voor de (eventuele) installatie te Westkapelle zijn er geen problemen zichtbaar. Fig. 86 toont een maximale delayspread van ongeveer 230 ns (4,35 Mbps). Op Fig. 87 is deze maximale waarde alweer groter (kleinere afstand), maar over een delayspread van ca. 300 ns hoeven we ons geen zorgen te maken.

Vlissingen

Net als bij de marifonie hebben we hier de twee locaties bekeken. Voor het windturbinepark van C-Power (Fig. 88 en Fig. 89) bedraagt de maximale waarde voor de installatie “Bachtenreede” net iets minder dan 250 ns, voor de installatie op de vuurtoren is dat net iets meer (net als bij de marifonie installaties is er verondersteld dat “Bachtenreede” een locale installatie is en dus een kleiner vermogen uitzendt). Fig. 90 en Fig. 91 geven opnieuw hetzelfde beeld voor de twee AIS ontvangers (maximaal 300 ns delayspread aan het zuidoostelijke hoekpunt).



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)

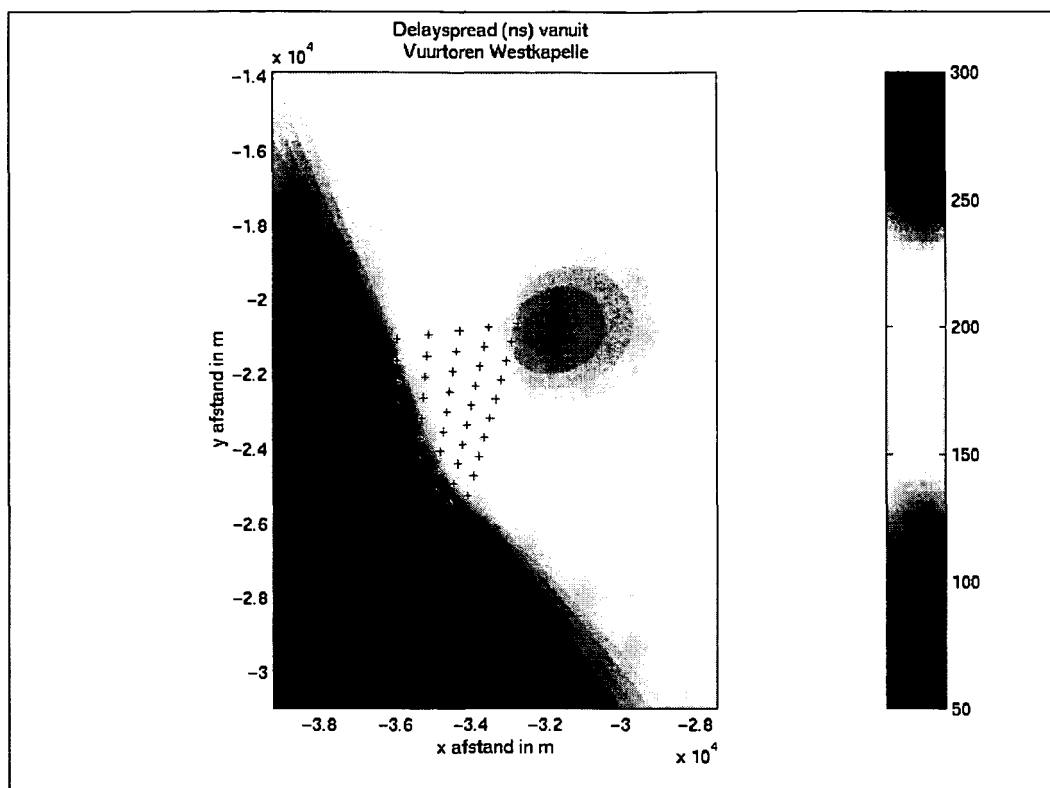


Fig. 86: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Westkapelle in de omgeving van het windturbinepark van C-Power

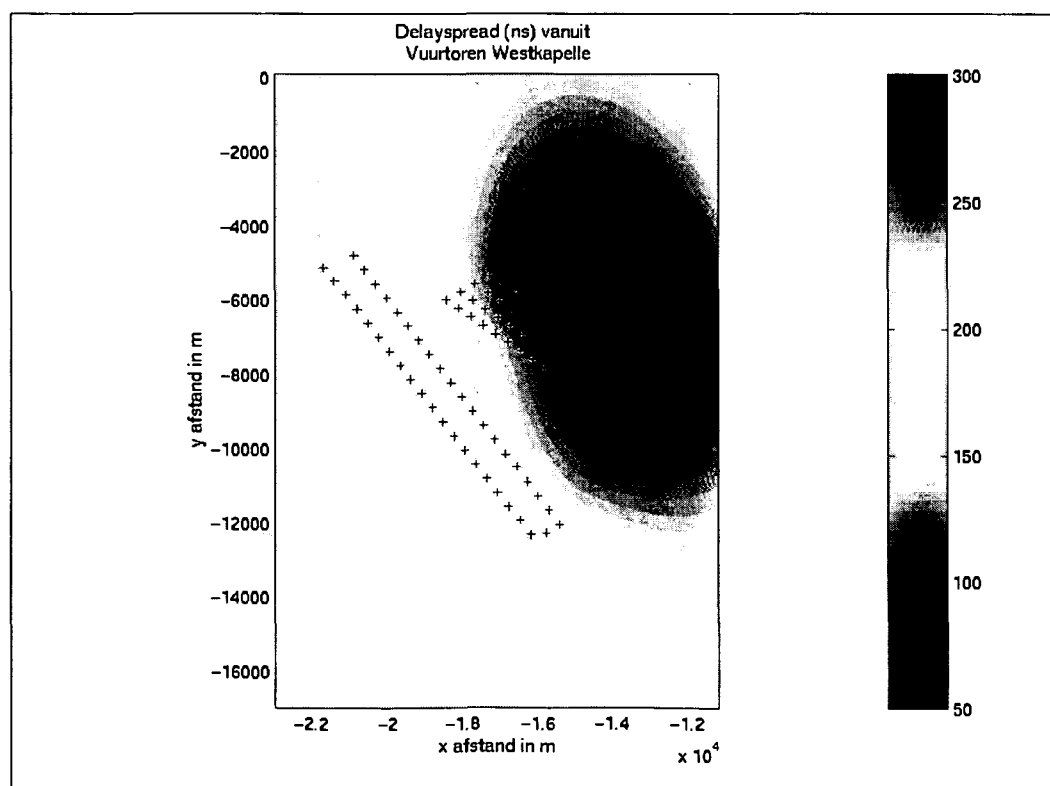


Fig. 87: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Westkapelle rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



Studie van de impact van windturbineparken in zee
op de Schelderadarketen (SRK)

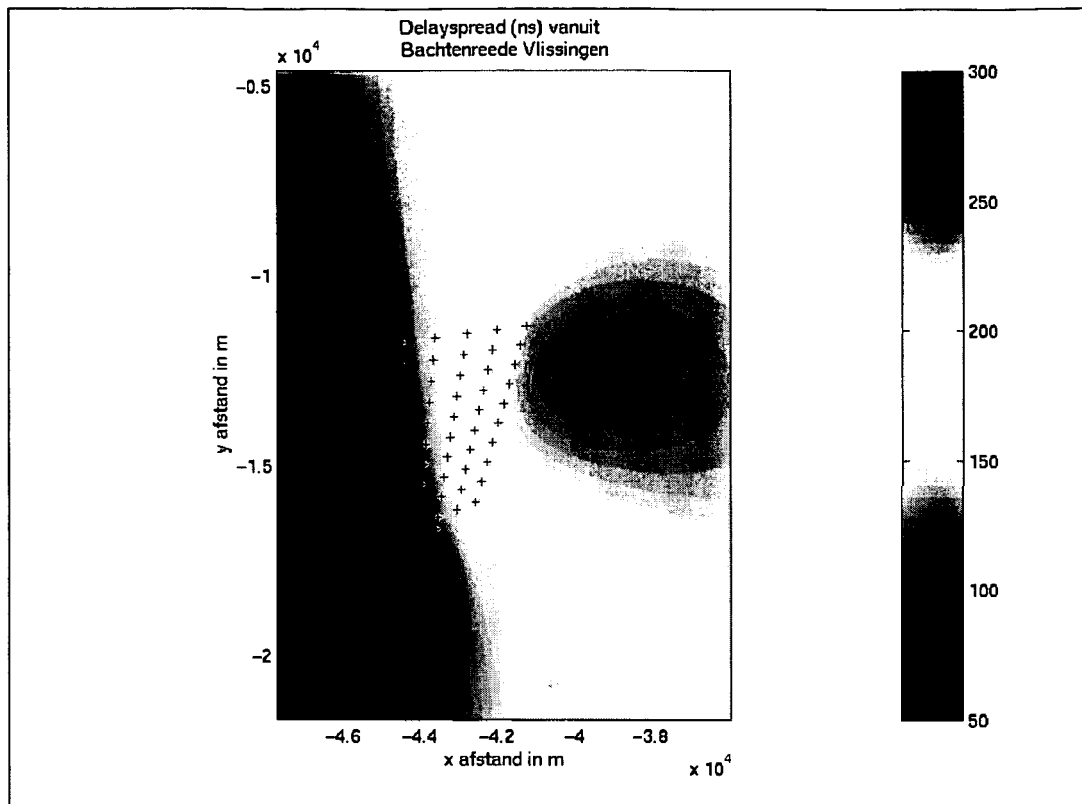


Fig. 88: delayspread (ns) vanuit de Vliissingen (Bachtenreede) in de omgeving van het windturbinepark van C-Power

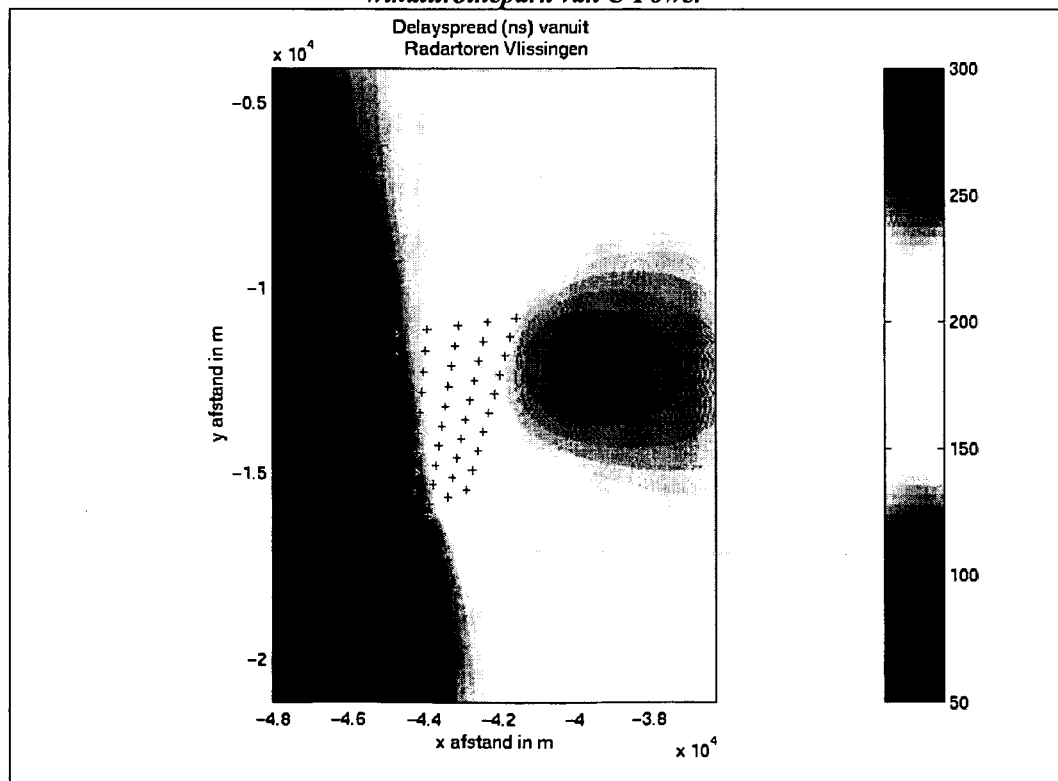


Fig. 89: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Vliissingen in de omgeving van het windturbinepark van C-Power

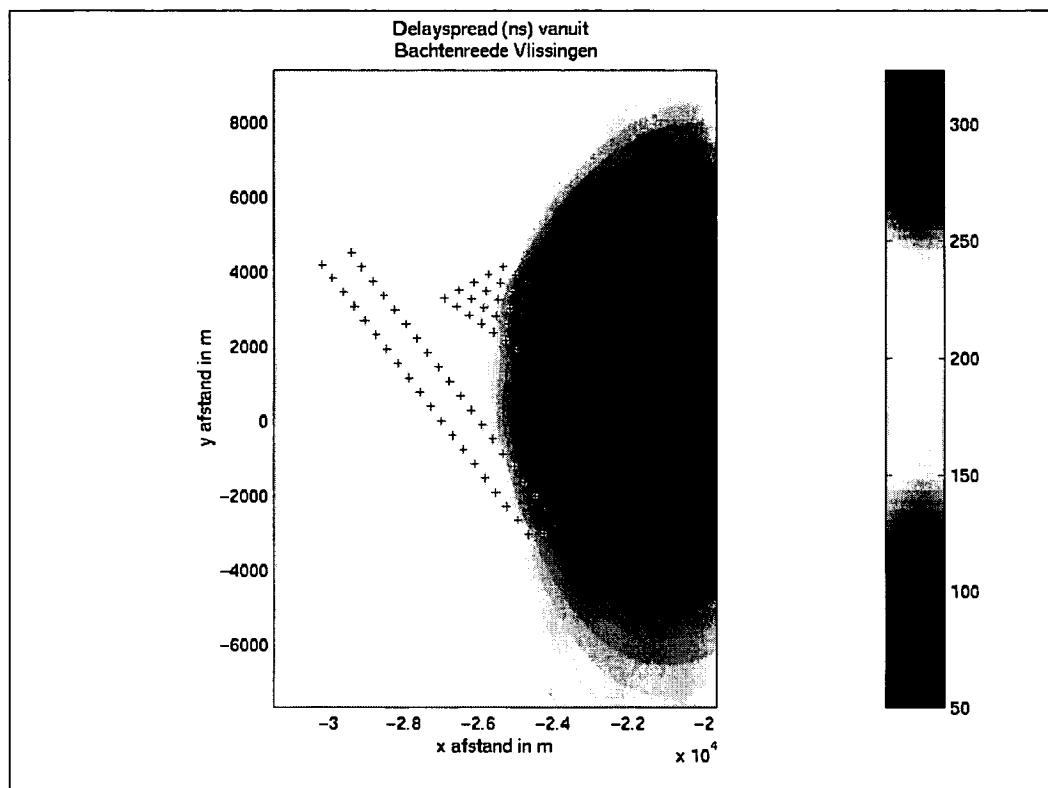


Fig. 90: delayspread (ns) vanuit de Vlissingen (Bachtenreede) rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy

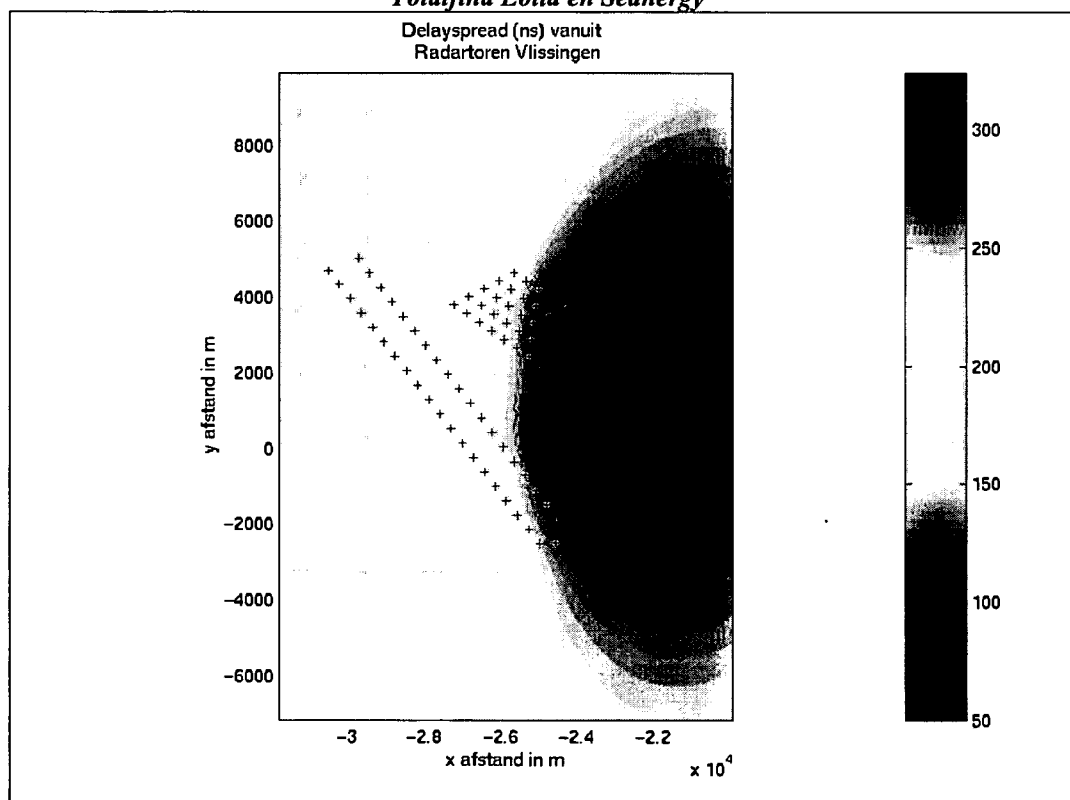


Fig. 91: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Vlissingen rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy



6.4 BESLUIT

Het bereik wordt opnieuw eerder bepaald door de kromming van de aarde dan door de begrenzingen van het systeem (ca. 35 km tegen 83,2 km). Ook over de Bit/Symbool Error Rate en de daarmee verbonden benodigde signaal-ruisverhouding hoeven we ons geen zorgen te maken.

Ook de delayspread die we in de voorgaande figuren hebben getoond geven niet meteen redenen om het bouwen en exploiteren van de windturbineparken af te gelasten. De maximaal toegestane delayspread van $104,16 \mu\text{s}$ (9,6 kbps) wordt volstrekt niet benaderd.



7 LIJST VAN FIGUREN

Fig. 1: overzicht van de verschillende windturbineparken en de belangrijkste radars van SRK ..	3
Fig. 2: detail van het windturbinepark van C-Power	7
Fig. 3: detail van de windturbineparken van Totalfina Eolia (zwart-links) en Seanergy (rood-rechts)	7
Fig. 4: elektromagnetisch model van een grote windturbine	10
Fig. 5: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object achter een V80 windturbine uiterst rechts op de figuur (gelegen op coördinaten (-900, 0) m)	12
Fig. 6: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object 1700 m achter een V80 windturbine zelf gelegen op 900 m van de radar	13
Fig. 7: schaduw van een radar met dezelfde kenmerken als die van Zeebrugge door drie V80 windturbines	14
Fig. 8: effect van een grote toren op het bereik van de radar	15
Fig. 9: grootte van de wijziging van radardwarsdoorsnede in dB van een object achter een V80 windturbine uiterst rechts op de figuur gelegen (x = -900 m) en een radar in de oorsprong; gebruikmakende van de benadering binnen het interval $\pm 10x$ awin	17
Fig. 10: detail van de vorige figuur rond de Y-as	17
Fig. 11: figuur ter verduidelijking van de gebruikte benadering	18
Fig. 12: grootte van de wijziging van de radardwarsdoorsnede in dB van een object 1800m achter een V80 windturbine zelf gelegen op 900m van de radar	19
Fig. 13: detail van de vorige figuur	20
Fig. 14: signaalniveaus van de radar van Oostende rondom het windturbinepark van C-Power ..	22
Fig. 15: horizonafstand in functie van de hoogte van de waarnemer/object	23
Fig. 16: signaalniveaus van de radar van Oostende in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	24
Fig. 17: signaalniveaus van de radar van Zeebrugge rondom het windturbinepark van C-Power ..	25
Fig. 18: signaalniveaus van de radar van Zeebrugge in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	26
Fig. 19: signaalniveaus van de radar van Cadzand rondom het windturbinepark van C-Power ..	27
Fig. 20: signaalniveaus van de radar van Cadzand in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	27
Fig. 21: signaalniveaus van de radar van Vlissingen rondom het windturbinepark van C-Power ..	28
Fig. 22: signaalniveaus van de radar van Vlissingen in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	29
Fig. 23: signaalniveaus van de radar van Westkapelle rondom het windturbinepark van C-Power ..	31
Fig. 24: signaalniveaus van de radar van Westkapelle in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	31
Fig. 25: signaalniveaus van de radar van Oostdyckbank rondom het windturbinepark van C-Power ..	32
Fig. 26: signaalniveaus van de radar van Oostdyckbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	32
Fig. 27: signaalniveaus van de radar van Schouwenbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbinepark van C-Power	33
Fig. 28: signaalniveaus van de radar van Schouwenbank in de onmiddellijke omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	33
Fig. 29: reflectie windturbine-schip-windturbine	36



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Fig. 30: posities op de vaarroute waar valse echo's kunnen optreden	37
Fig. 31: reflectie schip-windturbine-schip.....	38
Fig. 32: opname van een valse echo in de radarcentrale van Zeebrugge (dd. 28/01/2002).....	40
Fig. 33: voorbeeld van "verboden zone" rond de radar van Zeebrugge (uit het rapport van de afzonderlijke studie voor het windturbinepark van Totalfina Eolia)	41
Fig. 34: "verboden" zones rond de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy, gezien vanuit de radar van Zeebrugge	42
Fig. 35: "verboden" zones rond de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy, gezien vanuit de radar van Cadzand (tweede radar in afstand voor deze windturbineparken)	42
Fig. 36: "verboden" zones rond het windturbinepark van C-Power vanuit de radar van Oostende	43
Fig. 37: "verboden" zones rond het windturbinepark van C-Power vanuit de radar van Zeebrugge (tweede radar in afstand voor het windturbinepark van C-Power).....	43
Fig. 38: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor de radar van Zeebrugge, in de omgeving van de transformatorcabine van Totalfina Eolia	45
Fig. 39: mogelijke uitbreidingen van het concessiedomein van Seanergy	46
Fig. 40: tekening van het werkingsgebied van SRK (geel) en ondergrens van het oude LOA- gebied (BET – lila)	48
Fig. 41: overzicht van de radardekking van de radar van Oostende	50
Fig. 42: overzicht van de radardekking van de radar van Zeebrugge.....	51
Fig. 43: overzicht van de radardekking van de radar van Cadzand.....	51
Fig. 44: overzicht van de radardekking van de radar van Vlissingen.....	52
Fig. 45: overzicht van de radardekking van de radar van Westkapelle	52
Fig. 46: overzicht van de radardekking van de radar op de Oostdyckbank.....	53
Fig. 47: overzicht van de radardekking van de radar op de Schouwenbank	53
Fig. 48: kleurenschaal voor de globale figuren	54
Fig. 49: globale dekking van het noordelijk gedeelte.....	56
Fig. 50: globale dekking van het zuidelijk gedeelte	57
Fig. 51: overzicht van de marifonie installaties (bij gele rechthoekjes).....	60
Fig. 52: effect van de schaduwing van een windturbine bij marifonie frequenties.....	61
Fig. 53: marifoniesignaal (dBW) van Oostende (Vuurtoren) rondom het windturbinepark van C- Power.....	63
Fig. 54: marifoniesignaal (dBW) van Oostende (Vuurtoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.....	64
Fig. 55: marifoniesignaal (dBW) van Zeebrugge (haven) rondom het windturbinepark van C- Power.....	65
Fig. 56: marifoniesignaal (dBW) van Zeebrugge (haven) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.....	66
Fig. 57: marifoniesignaal (dBW) van Westkapelle (Vuurtoren) rondom het windturbinepark van C-Power	66
Fig. 58: marifoniesignaal (dBW) van Westkapelle (Vuurtoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.....	67
Fig. 59: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Bachtenreede) rondom het windturbinepark van C-Power	67
Fig. 60: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Radartoren) rondom het windturbinepark van C-Power	68
Fig. 61: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Bachtenreede) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.....	68
Fig. 62: marifoniesignaal (dBW) van Vlissingen (Radartoren) in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy.....	69
Fig. 63: overzicht van de beschouwde scheepsposities en vaarroutes	70



Studie van de impact van windturbineparken in zee op de Schelderadarketen (SRK)



Fig. 64: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 1	72
Fig. 65: Detail van de vorige figuur	72
Fig. 66: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 2	73
Fig. 67: plaatsen waar schepen kunnen aanleiding geven tot valse echo's voor scheepspositie 3	74
Fig. 68: principe en mogelijke afwijking van RDF	76
Fig. 69: overzicht van de beschouwde RDF ontvangers	78
Fig. 70: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger in de radarcentrale van Zeebrugge voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	79
Fig. 71: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger in de radarcentrale van Zeebrugge voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	80
Fig. 72: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Nieuwpoort voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	80
Fig. 73: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Nieuwpoort voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	81
Fig. 74: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Haamstede voor scheepvaart in de omgeving van de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	82
Fig. 75: hoekafwijking (in graden) bij de RDF ontvanger van Haamstede voor scheepvaart in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	82
Fig. 76: geometrie van de DGPS antenne en het turbinepark	84
Fig. 77: winst van de DGPS antenne in het verre veld (op grote afstand)	85
Fig. 78: nabije veld van de zendantenne indien de aarde volmaakt geleidend verondersteld is	86
Fig. 79: nabije veld van de zendantenne in de veronderstelling dat de aarde volledig bestaat uit zeewater	87
Fig. 80: BER in functie van signaal-ruisverhouding (dB)	90
Fig. 81: voorbeeld van ontvangst van éénzelfde symbool (vermogen vs. tijdstip van ontvangst)	91
Fig. 82: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Oostende in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	92
Fig. 83: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Oostende rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	93
Fig. 84: delayspread (ns) vanuit de radartoren van Zeebrugge in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	93
Fig. 85: delayspread (ns) vanuit de radartoren van Zeebrugge rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	94
Fig. 86: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Westkapelle in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	95
Fig. 87: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Westkapelle rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	95
Fig. 88: delayspread (ns) vanuit de Vlissingen (Bachtenreede) in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	96
Fig. 89: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Vlissingen in de omgeving van het windturbinepark van C-Power	96
Fig. 90: delayspread (ns) vanuit de Vlissingen (Bachtenreede) rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	97
Fig. 91: delayspread (ns) vanuit de vuurtoren van Vlissingen rondom de windturbineparken van Totalfina Eolia en Seanergy	97



8 LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van C-Power	5
Tabel 2: UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van Totalfina Eolia (TFE = eerste fase; TFA = tweede fase).....	6
Tabel 3: UTM 31 – ED50-coördinaten van de windturbines en transformatorcabine van het windturbinepark van Seanergy	8
Tabel 4: eigenschappen van de radars van de Schelderadarketen	20
Tabel 5: percentuele vermindering van de waterdekking voor de verschillende radars afzonderlijk.....	34
Tabel 6: hoekpunten van het oude LOA-gebied (BET)	49
Tabel 7: overzicht van de verschillende VHF Marifonie radars	59
Tabel 8: coördinaten van de beschouwde scheepsposities	71
Tabel 9: overzicht en eigenschappen van de beschouwde Radio Direction Finders.....	77

9 REFERENTIES

[JULL] E.V. Jull, "Aperture antennas and diffraction theory", Peter Peregrinus Ltd., 1981

[BART] D.K. Barton, "Modern Radar System Analysis", Artech House, 1988

[BBC-1] J.L. Eaton, R.I. Black and G.H. Taylor, "Interference to TV Reception from large Wind Turbines", 1983

[BBC-2] D.T. Wright, "Effects of Wind Turbines on Television Reception: Field test in Denmark", nov. 1991

[CAA] H.S. Dabs, R.J. Chignell, "The provision of guidelines for the installation of wind turbines near aeronautical radio stations", Civil Aviation Authority Paper 99002, April 1999

[MEDE] J. Kats en J. Van Rees, "Hinder voor TV ontvangst, een niet te onderschatten aspect van grote windturbines", DNL, Verslag 546 DNL/86, 1986

[MICH] Michigan University, "Electromagnetic Interference by Wind Turbine Generators", maart 1978

[AIS] IALA, "IALA Guidelines on Universal Shipborne Automatic Identification System", AIS 9, Kiel, 6 april 2001