

PUBLIEK

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

TNO-rapport

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

2021R10578

Posities communicatie antennes en dekingsgebieden Borssele Alpha

Datum	2 november 2019
Auteur(s)	Dr. R. Djapic, P.C. Hoefsloot
Exemplaarnummer	<copy no>
Oplage	<no.of copies>
Aantal pagina's	56
Aantal bijlagen	<number of appendices>
Opdrachtgever	RWS
Projectnaam	Borssele Alpha
Projectnummer	060.27969

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

PUBLIEK

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Overzicht simulatievoorwaarden op basis van uitgegeven vergunningen	5
3	Communicatie dekkinggebieden	7
3.1	Bepalen randvoorwaarden van dekkinggebieden voor Marifonie	7
4	Modellering van antennes en mast.....	9
5	Marifonie ont koppelingen en dekkinggebieden	13
5.1	Inleiding	13
5.2	Vereiste isolatiewaarden tussen zenders en ontvangers	13
5.3	Isolatie tussen antennes: Ørsted simulatie en meetresultaten.....	14
5.3.1	Conclusies	15
5.4	Marifoon dekkinggebieden Ørsted.....	16
5.4.1	Conclusies	18
5.5	Marifonie TenneT.....	19
5.5.1	Inleiding	19
5.6	Marifonie dekkinggebieden TenneT	20
5.6.1	Conclusies	22
5.7	Aanbevolen zendvermogens voor AIS en marifonie	23
6	Aeronautische dekkinggebieden	24
7	Ørsted TETRA netwerk dekking	26
8	AIS en AtoN dekking	28
9	ADS-B antenne patroon	30
10	Dekkinggebied RWS LoRa.....	31
11	Invloed van de platformkraan op stralingspatronen.....	32
12	Conclusies ont koppeling tussen antennes	34
13	Conclusies.....	36
Bijlage	39	

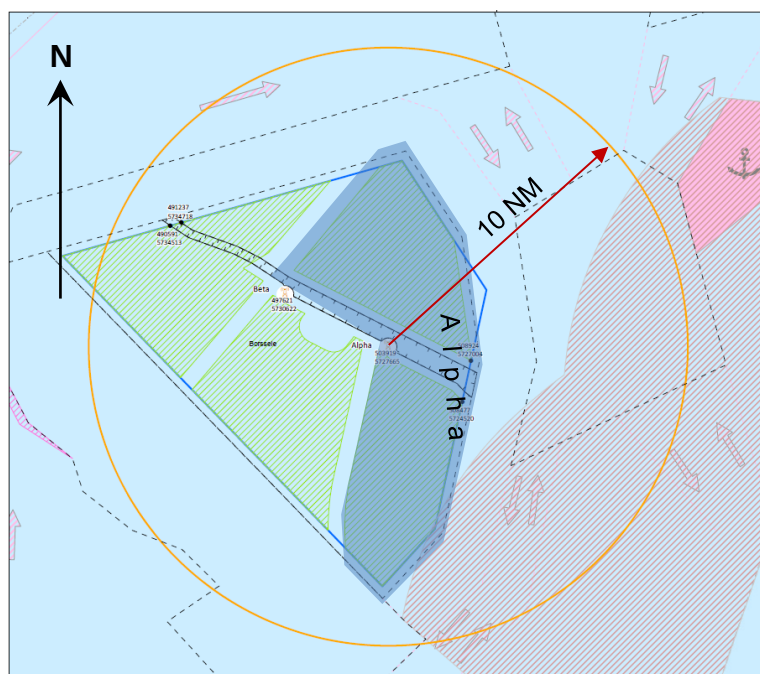
1 Inleiding

Het windturbinepark Borssele bestaat uit twee hoofddelen: kavels I en II (Ørsted) gekoppeld aan OSS platform Alpha en kavels III en IV (Blauwwind) gekoppeld aan OSS platform Beta. Beide delen krijgen een eigen communicatieplatform met bijbehorende antennemast waarop o.a. apparatuur t.b.v. communicatie met scheepvaart en luchtvaart zal worden ondergebracht. Daarnaast worden er diverse sensoren voor o.a. vleermuisdetectie en meteorologische waarnemingen opgesteld op andere locaties op het OSS.

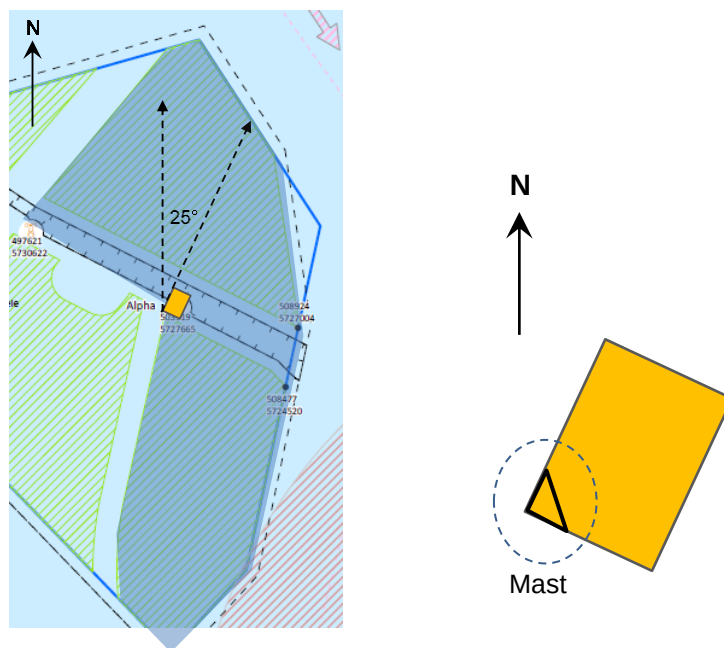
In dit document worden de posities van communicatiesystemen en sensoren aangegeven in de mast, en de relatie tussen vereiste en gesimuleerde dekkinggebieden.

Figuur 1 en 2 geven het windturbinepark aan met de locaties van beide communicatieplatforms. Door TNO zullen voor platform Alpha voorstellen worden gedaan met betrekking tot de antenneconfiguraties en berekeningen worden uitgevoerd, met als doel dat aan de communicatie en interferentie eisen, zoals gesteld door RWS, Ørsted en TenneT, wordt voldaan.

De door Agentschap Telecom uitgegeven vergunningen geven het zendvermogen aan in ERP, dat wil zeggen het uitgestraalde vermogen t.o.v. een dipool. In dit document zullen de berekeningen die worden uitgevoerd steeds op basis van EIRP worden bepaald. Dit houdt een correctie in van 2,15 dB ($1 \text{ dBW ERP} = 3,15 \text{ dBW EIRP}$).



Figuur 1 Windturbinepark Borssele, kavels 1 en 2 (Bron: RWS)



Figuur 2 Oriëntatie van platform Alpha t.o.v. geografisch noorden in het park (links) en positie telecom en sensormast op het platform (rechts)

2 Overzicht simulatievoorwaarden op basis van uitgegeven vergunningen

Voor de simulaties is uitgegaan van eisen die gesteld zijn door Ørsted, TenneT en RWS aan de dekking van de communicatiesystemen in Borssele Alpha. Tevens stelt Agentschap Telecom voorwaarden aan het uitgestraalde vermogen in de uitgegeven vergunningen. De positie van het platform, de hoogte van de mast, de invloed op het stralingspatroon en de ontvangstomstandigheden aan de mobiele completeren de parameters om simulaties uit te kunnen voeren. In Tabel 1 staat een overzicht van de parameters zoals gebruikt in de simulaties. Er is in de simulaties afgeweken van de hoogtes zoals door AT verstrekt in de vergunningen, deze staan als “tussen haakjes” vermeld in de tabel.

De aangegeven hoogtes in tabel 1 zijn de effectieve waarden t.o.v. zeeniveau. De feitelijke posities in de mast kunnen worden bepaald door de hoogte van het platformdek, 45 meter, hiervan af te trekken.

Tabel 1 Uitgangspunten voor de simulaties

Ant. nr's	Unique eq. Code	Systeem	Eigenaar	Simul. / Geïmpl. / (AT) [m]	Freq. Band [MHz]	EIRP [dBW]	Simulatie ontvangstation
1	S02-DNG-VHF-01	Marifonie (VHF, RX)	Ørsted	60/59,4/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
2	S02-DNG-VHF-03	Marifonie (VHF, RX)	Ørsted	60/59,4/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
3	S02-DNG-VHF-03	Marifonie (VHF, RX)	Ørsted	60/59,4/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
4	S02-DNG-VHF-04	Marifonie (VHF, TX)	Ørsted	49,5/50,05/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
5	S02-DNG-VHF-05	Marifonie (VHF, TX)	Ørsted	49,5/50,05/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
6	S02-DNG-VHF-06	Marifonie (VHF, TX)	Ørsted	49,5/50,05/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
7	S04-TNT-VHF-01	Marifonie (VHF, RX 1)	TenneT	57,5/58,05/(58)	156 - 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
8	S04-TNT-VHF-02	Marifonie (VHF, TX)	TenneT	51,5/50,05/(58)	156 – 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
9	S04-TNT-VHF-03	Marifonie (VHF, TX)	TenneT	51,5 / 50,05 / (58)	156 – 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
27	S04-TNT-VHF-04	Marifonie (VHF, RX 2)	TenneT	- /58,05/(58)	156 – 162	*)	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
10	S05-DNG-VHF-01	Aeronautics (VHF)	Ørsted	56,7/55,55/(45)	123,45	+7,15	-90 dBm @ 200 m
11	S05-DNG-VHF-04	Aeronautics (VHF)	Ørsted	56,7/55,55/(45)	123,45	+7,15	-90 dBm @ 200 m

13	S20-RWS-AIS-01	AIS (TX)	RWS	48,5 / 50,05 / (51)	162	+13,15	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
14	S20-RWS-AIS-03	AIS (RX)	RWS	59 / 58,05 / (51)	162	+13,15	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
15	S27-DNG-AIS-01	AIS (RX)	Ørsted	59 / 58,05 / (51)	162	+13,15	+2 dBi, -91/-101 dBm @ 6m
16	S28-DNG-ADB-01	ADS-B	Ørsted	52 / 52,05	1000	n.v.t.	n.v.t.
17	S03-DNG-TTR-01	TETRA	Ørsted	59,5 / xxx / (56)	410-430	+12,15 (DMO en TMO)	0 dBi, -90 dBm @ 1,5 m
18	S03-DNG-TTR-02	TETRA	Ørsted	54,5 / 53,05 / (56)	410-430	+12,15 (DMO en TMO)	0 dBi, -90 dBm @ 1,5 m
20	S03-DNG-TTR-09	TETRA (Client)	Ørsted	51,8 / 50,05 / (56)	410-430	+ 9,15 / 12,15 (DMO en TMO)	0 dBi, -90 dBm @ 1,5 m
21	S03-DNG-TTR-05	GPS	Ørsted	56 / 55,05	1575		
22	S03-DNG-TTR-06	GPS	Ørsted	56 / 55,05	1575		
23	S20-RWS-AIS-02	GPS	RWS	56 / 55,05	1575		
25	S26-RWS-LRA-01	LoRa	RWS	49,1 / 53,05	868	-7	0 dBi, -148 dBm
26	S26-RWS-LRA-02	LoRa	RWS	49,1 / 53,05	868	-7	0 dBi, -148 dBm

*) De vermogens zijn in hoofdstuk 5 en 5.5 berekend op basis van de interferentie & simulatie gegevens.

DMR wordt mogelijk door TenneT ingezet, maar zal niet worden opgesteld in de mast, maar elders op of onder het platform. Door AT is hiervoor een vergunning verleend.

3 Communicatie dekkingengebieden

Bij tweeweg communicatie en Broadcast (één richtingsverkeer) wordt vaak gesproken over een “dekkingengebied”. Aan zo’n gebied worden eisen gesteld voor de minimale signaalsterkte en hoe vaak daar aan wordt voldaan. Dat laatste wordt in de landmobiele communicatie vaak in een percentage van de tijd en plaats uitgedrukt. Hoe hoger dat percentage, des te betrouwbaarder de verbinding is. Deze manier van definiëren van een dekkingengebied is niet gevonden voor de maritieme omgeving. In paragraaf 3.1 wordt aangegeven op basis waarvan de dekkingengebieden zijn berekend voor de maritieme omgeving.

3.1 Bepalen randvoorwaarden van dekkingengebieden voor Marifonie

Voor de maritieme omgeving zijn geen duidelijke normen gevonden die een beschrijving geven hoe de rand van een dekkingengebied kan worden vastgesteld. Vaak wordt een Line Of Sight (LOS) waarde gegeven als “bereik”, waarbij geen rekening wordt gehouden met de feitelijk signaalsterkte¹. Over de toestand van de zee (Sea state) wordt nergens een voorbehoud gemaakt, of een correctiewaarde voor aangenomen. Voor grote zeeschepen zal het effect van hoge golven niet erg groot zijn, maar bij schepen waar de antennes niet hoog kunnen worden opgesteld kan er wel een effect op het bereik worden verwacht.

Een ander aspect van het bereik betreft propagatie. Een model voor Marifonie waarbij specifieke parameters kunnen worden ingevoerd, kon niet worden gevonden.

Er is in dit rapport uitgegaan van 2 modellen: TERPEM en de propagatiecurves zoals gepubliceerd door de ITU, Rec. 1546. Voor de ITU recommendation zijn voor het Noordzeegebied de curves voor Cold Sea, 50% genomen als basis voor de propagatieverliezen.

De verschillen tussen beide propagatiemodellen is niet groot, waarbij het TERPEM propagatiemodel enigszins conservatief is met de verwachte radiodekking t.o.v. ITU Rec. 1546. TERPEM is beschikbaar als model binnen het door TNO ontwikkelde CARPET programma. CARPET is in eerste instantie ontwikkeld voor RADAR systemen, maar ook het bereik van communicatiemiddelen kan worden weergegeven. Vanwege de geringe verschillen en beschikbaarheid is CARPET, met TERPEM als propagatiemodel voor VHF en UHF, gebruikt bij het uitvoeren van de dekkingssimulaties.

In de literatuur wordt voor maritieme communicatie op VHF zelden rekening gehouden met fading. D.w.z., er wordt geen marge voor genomen om dit op te vangen. De dekkingengebied simulaties zijn uitgevoerd op basis van minimaal vereiste gevoeligheid van marifoon apparatuur (-100 dBm), maar ook voor een waarde die 10 dB hoger ligt waarbij de kans op fading wordt geminimaliseerd (-90 dBm), waarbij rekening is gehouden met implementatieverliezen van 1 dB.

Ørsted, TenneT en RWS zijn belanghebbende partijen die eisen stellen aan de communicatie aspecten binnen en direct buiten het windturbinepark. Binnen het park speelt TETRA een grote rol, i.v.m. de communicatie met onderhoudspersoneel.

¹ IMO resolution A.801(19)

Binnen en buiten het park moet Marifonie en Avionics communicatie aan eisen van betrouwbaarheid en dekking voldoen.

Ørsted en TenneT stellen ieder verschillende eisen aan de dekkingsgebieden van Marifonie. Ørsted wil voor marifonie een zone van 10 NM rondom Borssele Alpha, TenneT wil bereik in het windpark Borssele, waarbij geen extra zone rondom het park wordt vereist.

In hoofdstukken 5 t/m 11 worden de eisen en simulatieresultaten die aan de diverse communicatiemiddelen zijn gesteld grafisch weergegeven per toepassing, en zal met simulaties worden aangetoond wat de verwachte dekkingen zijn van alle systemen.

4 Modelling van antennes en mast

Communicatiemasten worden op hoge posities op platforms geplaatst waar ze verantwoordelijk zijn om op een betrouwbare wijze een windturbine park van communicatie te voorzien. De communicatie vindt op VHF en UHF plaats en metalen objecten, zoals een mast, kunnen deze beïnvloeden. Zo kan het omni-directionele stralingspatroon van een verticale dipool worden vervormd en in sommige richtingen minder, of juist meer energie uitstralen. De metalen structuur van een mast heeft ook invloed op de koppeling tussen antennes. Door geleiding maar ook door reflecties kan de koppeling sterker worden, of juist verminderen.

Met de Method of Moments methodiek (MoM), worden structuren opgedeeld in korte segmenten, doorgaans met een individuele lengte van $1/5$ tot $1/20^e$ van de golflengte waarop de simulaties plaats vinden. Bij kleine golflengtes (hoge frequenties) betekent dit dat een mast uit vele duizenden segmenten zal bestaan.

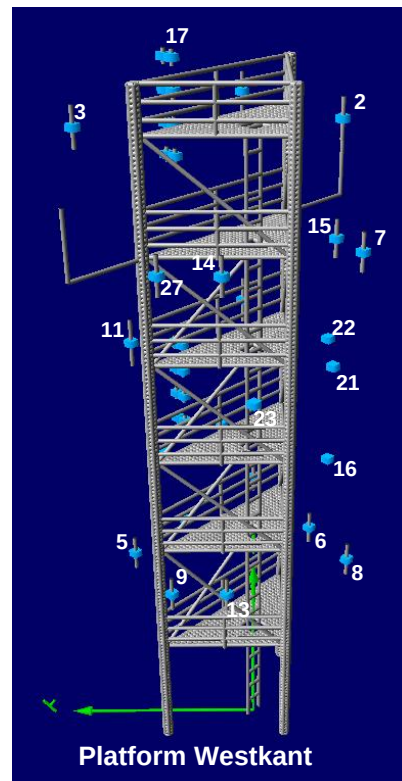
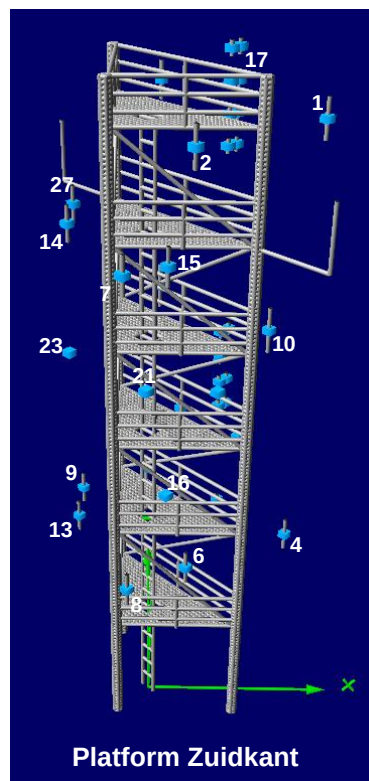
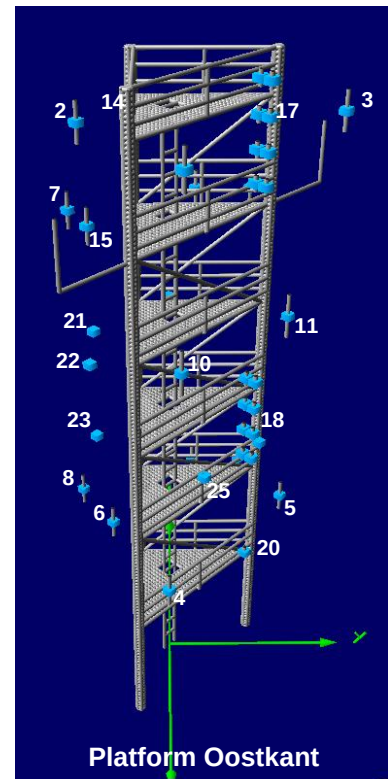
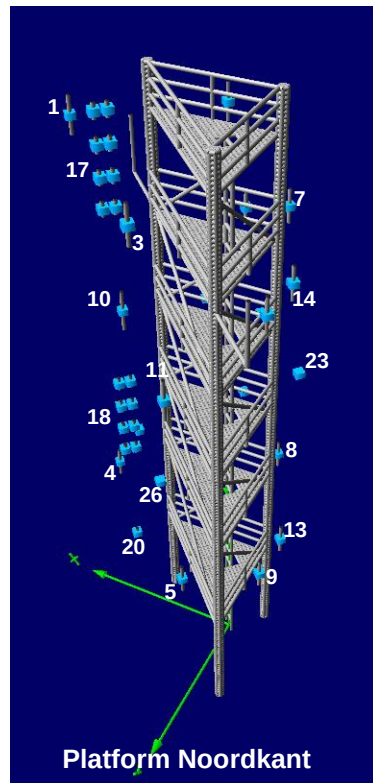
Een programma dat is gebaseerd op MoM is NEC4 (Numerical Electromagnetic Code). Dit programma berekent voor *alle* segmenten de stromen die er lopen ten gevolge van externe hoogfrequent velden. De berekende stromen leveren een nieuw elektromagnetisch veld, op basis waarvan het totale antenne patroon van de stralende antenne en koppelingen tussen antennes kan worden bepaald. In het geval van de communicatiemast bedraagt het aantal segmenten ongeveer 24000, waardoor het enkele uren kost om één simulatie uit te voeren. De MoM methode is zeer rekenintensief, maar levert wel alle mogelijke oplossingen, waardoor naast veranderingen van de stralingspatronen ook onderlinge koppelingen tussen alle antennes kunnen worden bepaald.

De rekentijd is sterk afhankelijk van het aantal gebruikte segmenten. Delen van de mast die geen invloed kunnen hebben aan de werking van de antennes of koppelingen er tussen, dienen bij voorkeur te worden verwijderd. Voor de berekeningen op VHF en UHF zijn daarom alleen de bovenste 5 bordessen gebruikt, voor ADS-B alleen de onderste 2.

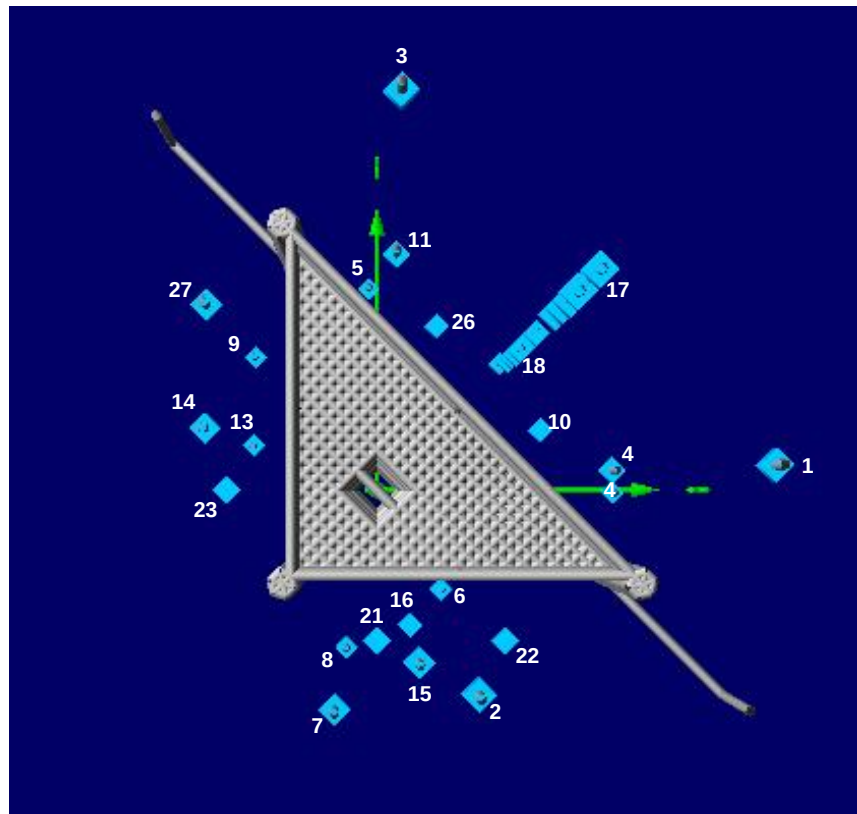
In Figuur 3 en 4 worden aanzichten getoond van de mast en de positioneringen van de antennes. De antennes aangemerkt 1 t/m 9 worden gebruikt voor marifonie (zenden en/of ontvangst), 10, 11 voor Aeronautics, 13, 14 en 15 voor AIS, 16 voor ADS-B, 17 en 18 zijn beide TETRA arrays en antenne nummer 20 voor de TETRA Client. De GPS antennes zijn genummerd van 21 t/m 23.

De antenneposities zijn tot stand gekomen op grond van de volgende overwegingen:

- De aangegeven prioriteit van de systemen;
- Het vereiste bereik
- Maximalisatie van de ont koppeling om onderlinge beïnvloeding te minimaliseren.



Figuur 3 Antennenummers op de gesimuleerde posities gezien vanaf Noord, Oost, Zuid en Westelijke richting. Grondniveau = Platformniveau (45 m. a.s.l.).



Figuur 4 Bovenaanzicht van de antennemast met VHF en UHF antennes (de nummers corresponderen met de antennennummering zoals aangeven in tabel 1 en 2).

Tabel 2 Overzicht van antennefuncties en relatieve bevestigingsposities (montagehoogte = voetheogte van antenne)

Ant. nr.	Toepassing	X [m]	Y [m]	Montagehoogte op bracket [m] ²
1	Marifoon, Ørsted (RX1)	3,7	-0,23	15,3
2	Marifoon, Ørsted (RX2)	0,95	-1,90	15,3
3	Marifoon, Ørsted (RX3)	0,226	3,70	15,3
4	Marifoon, Ørsted (TX1)	3,48	0	4,8
5	Marifoon, Ørsted (TX3)	-0,12	2,96	4,8
6	Marifoon, Ørsted (TX2)	0,95	-1,46	4,8
7	Marifoon, TenneT (RX1)	-0,45	-2,32	12,8
8	Marifoon, TenneT (TX2)	-0,45	-2,32	4,8
9	Marifoon, TenneT (TX1)	-1,8	1,95	4,8
27	Marifoon, TenneT (RX2)	-1,8	0,23	12,8
10	Aeronautica, Ørsted	2,78	0,23	10,3
11	Aeronautica, Ørsted	0,23	2,78	10,3
13	AIS, RWS (TX)	-1,82	0,65	4,8
14	AIS, RWS (RX)	-1,82	0,65	12,8
15	AIS, Ørsted (RX)	0,45	-1,82	12,8
16	ADS-B	0,45	-1,82	7,8
17	TETRA, Ørsted	1,83	1,88	15,3
18	TETRA, Ørsted	1,83	1,88	7,8
20	Tetra Client, Ørsted	1,83	1,88	4,8
21	GPS (RX)	0	-1,82	10,55
22	GPS (RX)	1,55	-1,82	10,55
23	GPS (RX)	-1,82	0	10,55
25	LoRa, RWS (RX/TX)	2,21	0,80	7,8
26	LoRa, RWS (RX/TX)	0,80	2,21	7,8

² Montagehoogte ter hoogte van onderkant van antenne. De antennes worden op brackets gemonteerd met een hoogte van 1,80 m t.o.v. het loopvlak.

5 Marifonie ontkoppelingen en dekkinggebieden

5.1 Inleiding

Marifonie (156 – 162 MHz) speelt een belangrijke rol bij de communicatie rondom het platform. Schepen die het platform naderen om goederen of personeel af te leveren maken er gebruik van, maar ook alle schepen die door de corridor varen, of zich (net) buiten het windpark bevinden kunnen met marifoon worden bereikt. Ørsted heeft aangegeven dat het gebied van Borssele Alpha (kavel I en II) + een strook van 10 Nautical Miles (18,5 km) er omheen binnen de dekking van de marifooninstallatie moet vallen.

De minimale ontvanger gevoeligheid is vastgelegd in de standaard voor maritieme apparatuur en bedraagt $6 \text{ dB}\mu\text{V}^3$ ($= 2 \text{ }\mu\text{V} @ 50\Omega = -101 \text{ dBm}$), waarbij de audio signaal – ruisverhouding 20 dB bedraagt.

Voor 3 signaalsterktes zijn simulaties uitgevoerd. Bij de eerste is de minimale ontvangergevoeligheid gebruikt voor een signaalsterkte van -81 dBm, waarbij een fading marge van 20 dB is opgeteld. Bij de tweede is nog sprake van een fading marge van 10 dB (-91 dBm) en bij de laatste is uitgegaan van de minimale gevoeligheid limiet van -101 dBm. De feitelijke simulaties zijn met -80, -90 en -100 dBm uitgevoerd, omdat 1 dB voor kabelverliezen e.d. is meegenomen. De dekkingcurves zijn voor het volle vermogen (steeds de linker plaatjes bij +16 dBW) en voor een minimale interferentiesituatie zoals is berekend met de simulaties (De rechterplaatjes geven de contouren waarbij een aangepast, lager, vermogen is toegepast). De berekende contouren staan in figuur 5 t/m 10 (Ørsted) en figuur 12 t/m 15 (TenneT).

Bij de simulaties is voor de marifoon ontvangstantenne een hoogte aangehouden van 6 m a.s.l.⁴ en een versterking van +2 dBi.

5.2 Vereiste isolatiewaarden tussen zenders en ontvangers

In situaties waarbij simplex en duplex communicatie gelijktijdig plaatsvindt moet de isolatie tussen zender en ontvanger zodanig zijn dat deze niet wordt overstuurd (niet meer dan 1 dB gevoeligheidsverlies). De Marifoon standaard geeft een waarde van het compressiepunt aan van -11 dBm, wat inhoudt dat een ontkoppeling van tenminste 48 dB noodzakelijk is bij 5W zendvermogen (+7 dBW – -11 dBm) en bij 40 W (+16 dBW) zelfs 57 dB. De toegepaste Jotron ontvangers voldoen exact aan de 1dB compressiepuntwaarden zoals vastgesteld in de norm en hebben geen extra marge.

In de simulaties is voor de isolatie een extra marge van 3 dB toegevoegd ter compensatie van omgevingsvariaties (bijv. invloed van wind op de beweging van antennes). Dit houdt in dat er wordt gestreefd naar een maximaalingangssignaal aan de ontvanger t.g.v. een zender die in dezelfde frequentieband werkt van -11 – 3 = -14 dBm (1 dB compressiepunt minus de 3 dB marge).

³ EN301929, par. 9.4.3

⁴ Dong Energies, Functional description of radio systems Borssele 1+2, par. 4.2.2

5.3 Isolatie tussen antennes: Ørsted simulatie en meetresultaten

De resultaten van de simulatieberekeningen zijn in onderstaande tabellen weergegeven. Daarbij is steeds de isolatie tussen een antenne die verbonden is met een zender naar alle antennes die met een ontvanger zijn verbonden en in dezelfde frequentieband werken, weergegeven. Metingen die zijn uitgevoerd aan de opgebouwde antenne installatie in Stellendam (de “steigerpijp mock-up”) zijn ook in de tabel opgenomen. De mock-up in Stellendam is een goede benadering is van de werkelijk toegepaste mast. Het lijkt echter waarschijnlijk dat de verschillen een rol hebben gespeeld in sommige significante (negatieve) afwijkingen in de meetresultaten. Daarom is besloten de vaak iets conservatievere simulatiewaarden te gebruiken als referentie.

Tabel 3 Isolatie tussen TX antenne 4 (Ørsted marine radio) en andere RX antennes (159 MHz). Antenne 1 wordt niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 4.

Ant. nr.	Applicatio n	Isolation [dB]		Req. power reduction [dB]		TX ANT4 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT2	Marine RX	58	65	2	0	
ANT3	Marine RX	49	54	11	6	
ANT7	Marine RX	49	53	11	7	
ANT27	Marine RX	48	-	12		3 / 5
ANT14	AIS RX	57	61	3	0	
ANT15	AIS RX	60	71	0	0	

Tabel 4 Isolatie tussen TX antenne 5 (Ørsted marine radio) en andere RX antennes (159 MHz). Antenne 3 wordt niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 5.

Ant. nr.	Applicatio n	Isolation [dB]		Req. power reduction [dB]		TX ANT5 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT1	Marine RX	53	57	7	3	8 / 9
ANT2	Marine RX	50	66	10	0	4 / 6
ANT7	Marine RX	55	54	5	6	
ANT27	Marine RX	54	-	6		
ANT14	AIS RX	57	70	3	0	
ANT15	AIS RX	53	55	7	5	

Tabel 5 Isolatie tussen TX antenne 6 (Ørsted marine radio) en andere RX antennes (159 MHz). Antenne 2 wordt niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 6.

Ant. nr.	Application	Isolation [dB]		Req. power reduction [dB]		TX ANT6 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT1	Marine RX	52	59	8	1	
ANT3	Marine RX	61	64	0	0	
ANT7	Marine RX	49	52	11	8	3 / 5
ANT27	Marine RX	59	-	1		
ANT14	AIS RX	53	59	7	1	
ANT15	AIS RX	59	49	1	11	

Tabel 6 Isolatie tussen TX antenne 13 (AIS) en andere RX antennes (162 MHz). Antenne 14 wordt niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 13. Omdat het standaard vermogen van een AIS zender op 11 dBW ligt kan de isolatie marge met 5 dB omlaag.

Ant. nr.	Application	Isolation [dB]		Req. power / reduction [dB]		TX ANT13 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT1	Marine RX	62	70	0	0	
ANT2	Marine RX	63	38	0	17 ⁵	
ANT3	Marine RX	59	58	0	0	
ANT7	Marine RX	66	48	0	7	
ANT27	Marine RX	50	-	5		4 / 6
ANT15	AIS RX	64	54	0	1	

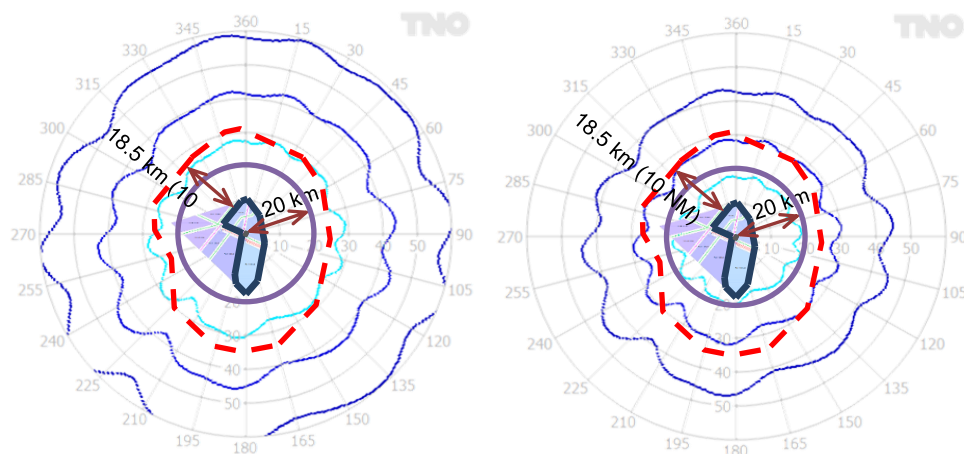
5.3.1 Conclusions

Op basis van de isolatiesimulaties blijkt dat de zendvermogens aanzienlijk moeten worden gereduceerd om te voorkomen dat ontvangers van andere systemen in dezelfde frequentieband gevoeligheid verliezen. Deze vermogens zijn toegepast in de dekkingsplaatjes.

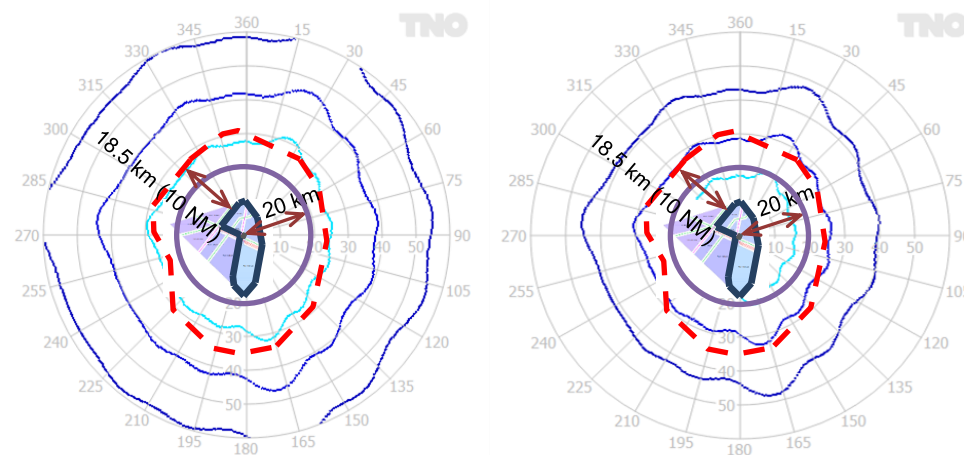
⁵ De afwijking tussen metingen aan de “steigerpijp” mock-up en simulaties is (te) groot. Mede daarom simulaties aanhouden. Zie ook “conclusions”

5.4 Marifoon dekingsgebieden Ørsted

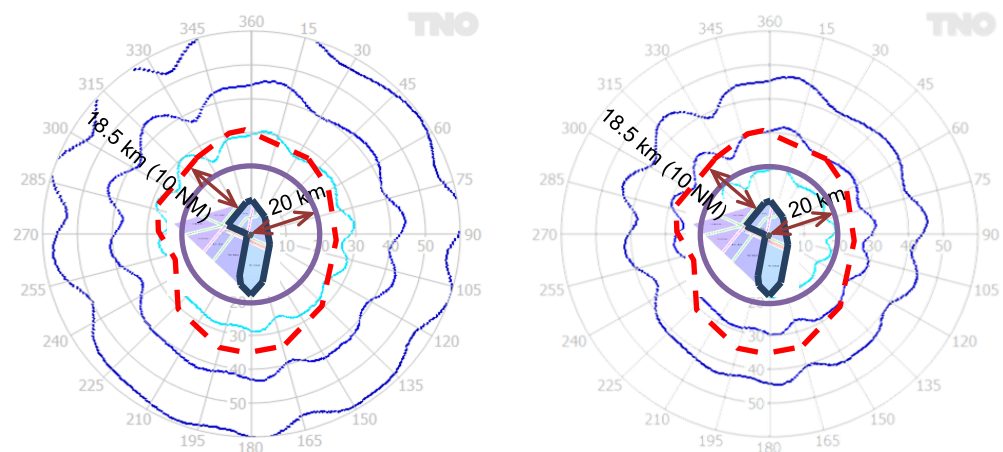
De rode onderbroken lijnen in de volgende figuren geven het gewenste dekingsgebied van Ørsted aan: windturbinepark + 10 NM. Bij ontvangst wordt uitgegaan dat het schip met 30 Watt in een +2 dBi antenne zendt (= +16 dBW EIRP), respectievelijk +7.2 dBW EIRP zoals is toegestaan voor marifoonkanaal 90L.



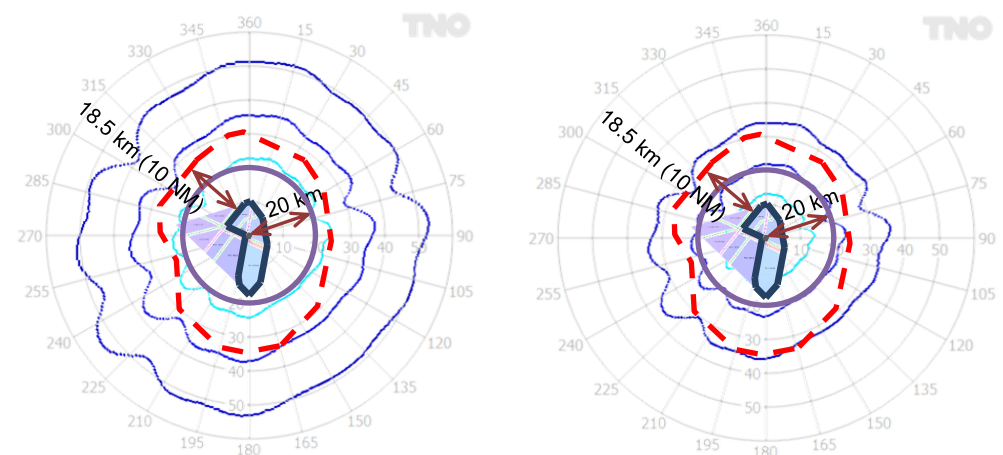
Figuur 5 Marifonie ontvangstreikwijdte bij $TX_{\text{schip}} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. Antenne 1 op 59.5m. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ \text{platform}} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



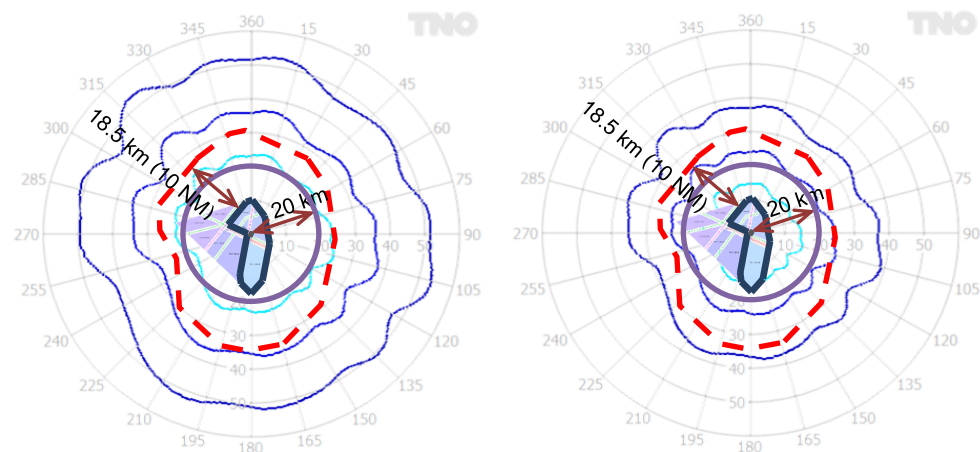
Figuur 6 Marifonie ontvangstreikwijdte bij $TX_{\text{schip}} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. Antenne 2 op 59.5m. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ \text{platform}} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



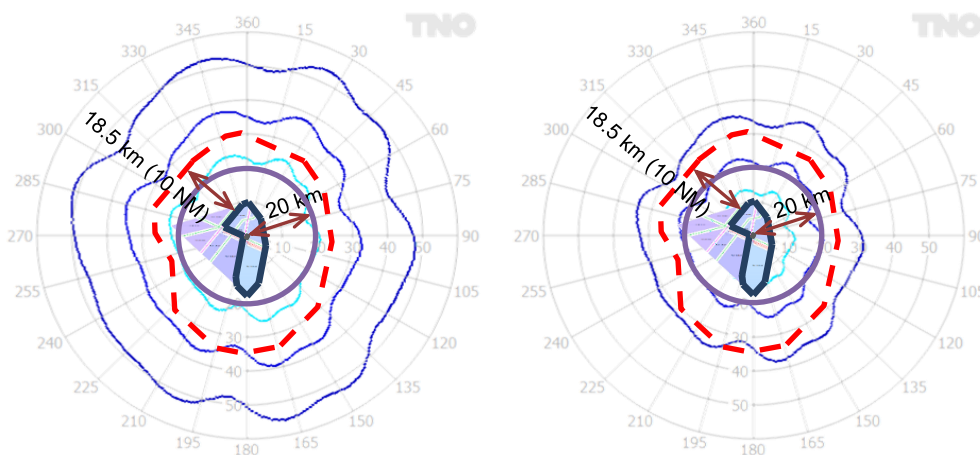
Figuur 7 Marifonie ontvangstreikwijdte bij $TX_{\text{schip}} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. Antenne 3 op 59.5m. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{\text{rx}} @ \text{platform} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 8 Dekkingsgebied marifonie zendantenne 4 op 50m. $TX_{\text{platform}} = +16$ dBW (links) en $+5$ dBW (rechts) EIRP. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{\text{rx}} @ \text{schip} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 9 Dekkingsgebied marifonie zendantenne 5 op 50m. $TX_{platform} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ schip} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 10 Dekkingsgebied marifonie zendantenne 6 op 50 m. $TX_{platform} = +16$ dBW (links) en $+5.5$ dBW (rechts) EIRP. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ schip} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).

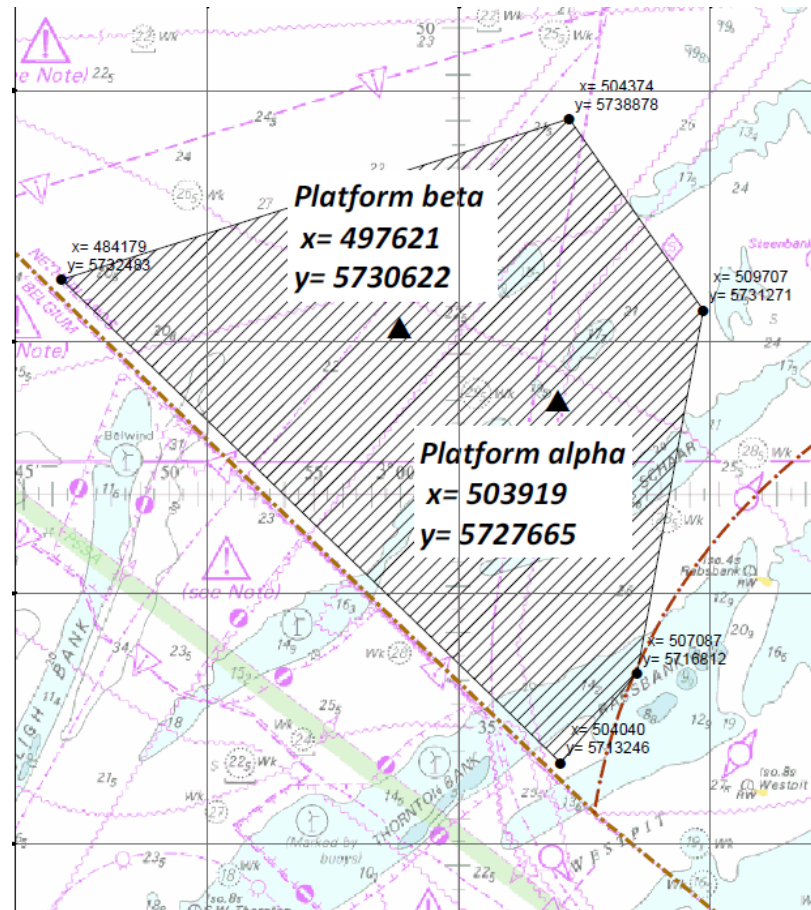
5.4.1 Conclusies

Uit de simulaties blijkt dat het gevraagde dekkinggebied, inclusief de strook van 10 NM, op basis van de standaard gevoeligheid van marifoonontvangers, wordt gehaald voor een ontvangst signaalvermogen van tenminste -90 dBm. Hierbij is uitgegaan van het maximaal toegestane zendvermogen van $+16$ dBW (alleen antenne 4 en 5 hebben een kleine dip aan de uiterste rand van de 10 NM). Een signaalniveau van -80 dBm wordt niet voor de gehele extra strook van 10 NM bereikt. Verder blijkt dat ook met gereduceerde zendvermogens een goede dekking van het windturbine park kan worden bereikt, maar bij een lager signaal niveau bij de scheepszenders (wel > -100 dBm).

5.5 Marifonie TenneT

5.5.1 Inleiding

Door TenneT zijn andere eisen aan de dekking voor marifonie gesteld dan door Ørsted. De eis is dat er in het *gehele windturbinepark*, dus inclusief de kavels III en IV (= Borssele Beta), dekking moet zijn, maar er zijn geen voorwaarden gesteld voor het gebied er buiten. Bij de bepaling van de dekking is TNO er echter van uitgegaan dat ook een gebied ruim buiten het windturbine park dekking moet hebben (+/- 10 km is aangehouden).



Figuur 11 Marifonie dekkingsgebied TenneT (zwart gearceerde deel)

Antenne nummer 7 en 27 zijn de ontvangstantennes, antennes 8 en 9 staan lager opgesteld i.v.m. de vereiste ont koppeling, en worden als zendantenne gebruikt. Drie signaal niveaus worden voor ontvangst aangehouden: -100, -90 en -80 dBm. -100 dBm is de minimaal vereiste gevoeligheidsgrens volgens de norm voor marifonie, de andere 2 waarden geven 10, respectievelijk 20 dB aan fading marge.

De hoogte van de ontvangstantenne is 12 m op de mast, d.w.z. 57 m a.s.l. Voor zowel ontvangst- als zendantennes is uitgegaan van omni-directionele antennes met nominale versterking van +2 dBi.

Tabel 7 Isolatatie tussen TX antenne 8 (TenneT marine radio) en andere RX antennes (159 MHz). Antenne 27 wordt hier niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 8.

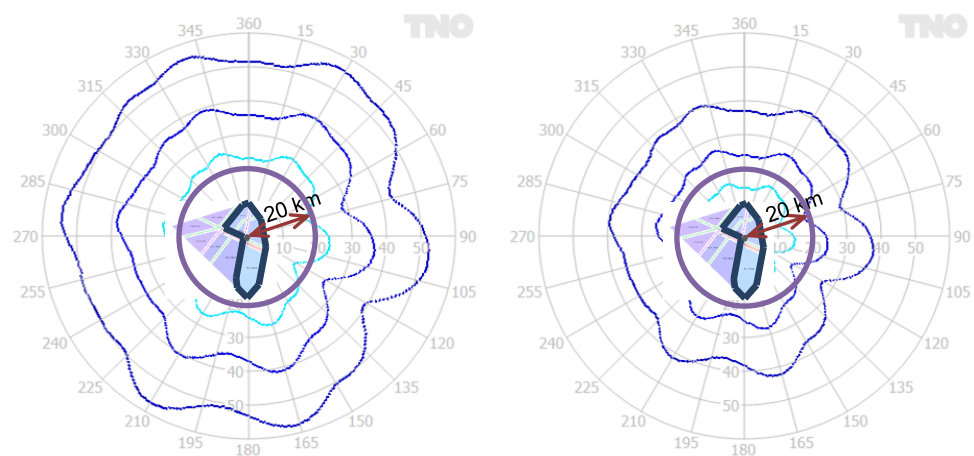
Ant. nr.	Application	Isolation [dB]		Req. power reduction [dB]		TX ANT4 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT1	Marine RX	50	66	10	0	
ANT2	Marine RX	50	58	10	2	
ANT3	Marine RX	53	61	7	0	
ANT7	Marine RX	48	51	12	9	3 / 4
ANT14	AIS RX	54	54	6	6	
ANT15	AIS RX	53	53	7	7	

Tabel 8 Isolatatie tussen TX antenne 9 (TenneT marine radio) en andere RX antennes (159 MHz). Antenne 7 wordt hier niet beschouwd omdat het de ontvangantenne is behorende bij antenne 9.

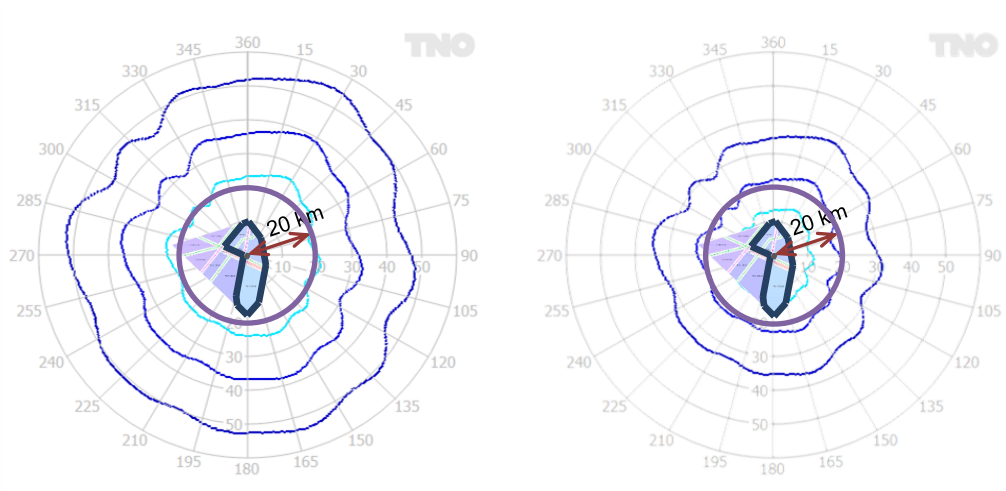
Ant. nr.	Application	Isolation [dB]		Req. power reduction [dB]		TX ANT4 for no sensitivity loss [W / dBW]
		Simul.	Meas.	Simul.	Meas.	
ANT1	Marine RX	52	57	8	3	
ANT2	Marine RX	51	54	9	6	5 / 7
ANT3	Marine RX	57	55	3	5	
ANT27	Marine RX	59	-	1		
ANT14	AIS RX	61	52	0	8	
ANT15	AIS RX	58	55	2	5	

5.6 Marifonie dekingsgebieden TenneT

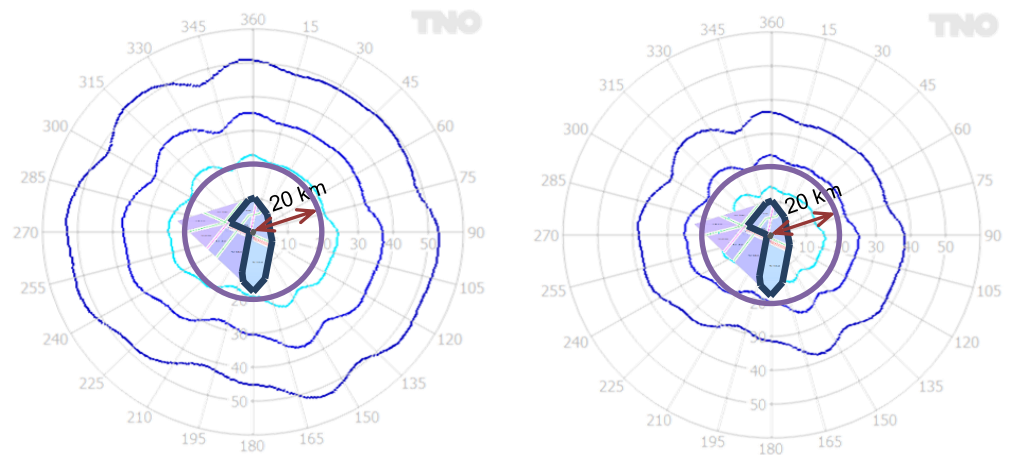
Bij ontvangst wordt uitgegaan dat het schip met 30 Watt in een +2 dBi antenne zendt (= +16 dBW), respectievelijk een EIRP heeft van +7.2 dBW EIRP zoals is toegestaan voor marifoonkanaal 90L. Idem voor de apparatuur op het platform. De rode onderbroken lijn geeft in de volgende figuren het gewenste dekingsgebied van TenneT aan: Het volledige windturbinepark Borssele 1, 2 en 3.



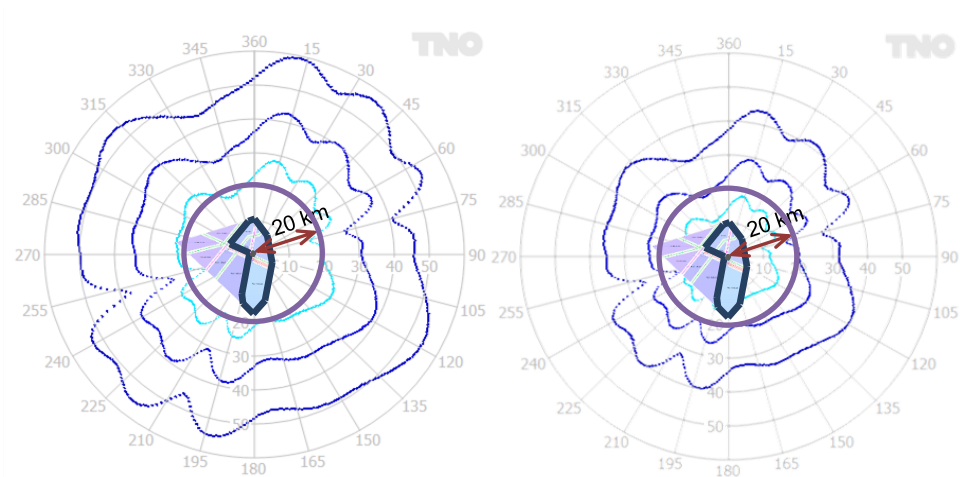
Figuur 12 Marifonie ontvangstreikwijdte bij $TX_{\text{schip}} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. Antenne 7 op 58m. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx} @ \text{platform} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 13 Dekkingsgebied marifonie zendantenne 8 op 50 m. $TX_{\text{platform}} = +16$ dBW (links) en $+4.5$ dBW (rechts) EIRP. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx} @ \text{schip} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 14 Dekkingsgebied marifonie zendantenne 9 op 50m. $TX_{platform} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ schip} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).



Figuur 15 Marifonie ontvangstreikwijdte bij $TX_{schip} = +16$ dBW (links) en $+7.2$ dBW (rechts) EIRP. Antenne 27 op 58m. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{rx @ platform} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw).

5.6.1 Conclusies

Voor alle 4 de antennes geldt dat het windpark volledig wordt afgedekt met een minimaal signaal niveau van bijna -80 dBm indien hoog vermogen (30 Watt) wordt toegepast. Indien kanaal 90L wordt gebruikt, waarvoor een vermogensbeperking geldt van $+7$ dBW EIRP, worden de randen van het park bereikt met een signaalvermogen van -90 dBm. Alleen voor antenne 8 geldt dat de uiterst westelijke punt van het park daar net buiten valt.

Uit de simulaties en metingen is gebleken dat de vereiste isolatiewaarden tussen de marifoon zenders en ontvangers niet altijd worden gehaald. In tabellen 7 en 8 staan

de aanbevolen zendvermogens voor de marifoons vermeld. Op basis van deze gereduceerde zendvermogens wordt geen verslechtering van de ontvangst van andere marifoonsystemen verwacht ten gevolge van compressie, maar zal de signaalsterkte in het windpark dalen. De verwachte signaalsterkte in het park is volgens de simulaties tenminste -90 dBm.

De minimale gevoeligheidsgrens van marifoons (-101 dBm), waarbij nog communicatie mogelijk is, wordt dus ruim gehaald in het gebied.

De reikwijdte van de scheepszenders zal over het algemeen een stuk groter zijn dan dat van de zenders op het platform. Dat wil zeggen dat een schip (bijvoorbeeld) al op 50 km afstand kan worden gehoord, terwijl datzelfde schip het platform pas hoort als het tot (bijvoorbeeld) 40 km is genaderd.

Indien het frequentieverschil tussen zend- en ontvangfrequentie minder dan 125 kHz bedraagt kan er degradatie van de ontvangst optreden. Dit is niet gespecificeerd in de standaard, maar werd waargenomen tijdens diverse metingen. Indien mogelijk moet worden vermeden dat dit soort kleine frequentieverschillen optreden tussen de marifoons.

5.7 Aanbevolen zendvermogens voor AIS en marifonie

Uit de simulaties en metingen is gebleken dat de ontkoppeling tussen zend antenne 9 en ontvangantenne 7 maar 40 dB bedraagt. Door dit als een paar te definiëren (i.p.v. het oorspronkelijke antennepaar 9 en 27) is er minder reductie van het zendvermogen nodig voor antenne 9. Antenne 8 krijgt dan antenne 27 als ontvangantenne.

Tabel 9 is gebaseerd op het omwisselen van deze antennes

Tabel 9 Aanbevolen zendvermogens voor marifoon en AIS zenders op BSA

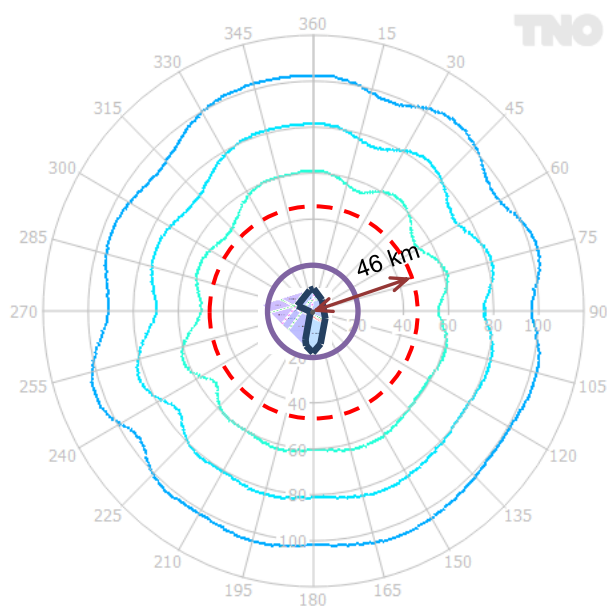
Radio ID	Gebruiker	Antenna nr.		Power Setting
		TX	RX	
S02-DNG-VHF-04	Ørsted	4	1	3,2 W / 5 dBW
S02-DNG-VHF-05	Ørsted	5	3	5,25 W / 7,2 dBW
S02-DNG-VHF-06	Ørsted	6	2	3,3 W / 5,2 dBW
S04-TNT-VHF-02	TenneT	8	27	2,8 W / 4,5 dBW
S04-TNT-VHF-03	TenneT	9	7	5,25 W / 7,2 dBW

Uit metingen bij Borssele Alpha en HKZA, is gebleken dat bij voldoende gereduceerd signaalvermogen aan de ingang van de ontvangantennes (maximaal -11 dBm) er toch degradatie van de ontvangst op kan treden als de frequentieafstand ≤ 125 kHz is tussen zend- en ontvangfrequenties. Dit kan gebeuren bij gebruik van meerdere simplex kanalen of een mix tussen simplex en duplex kanalen.

6 Aeronautische dekingsgebieden

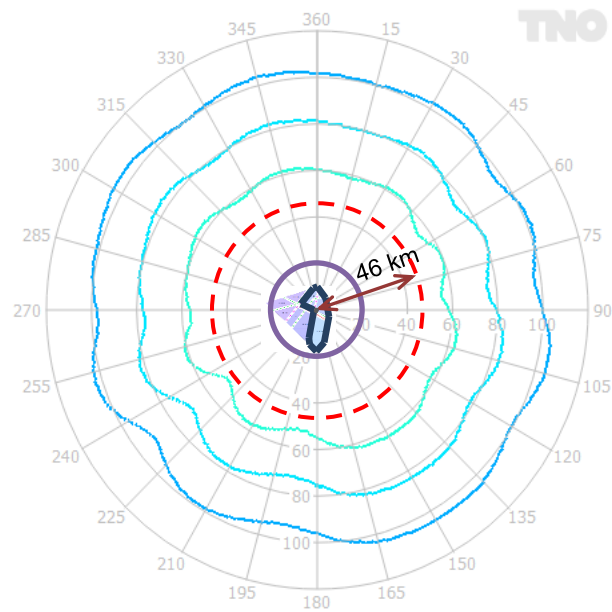
Aeronautische communicatie vindt plaats tussen 118 en 137 MHz. De minimale gevoeligheid van de ontvanger moet volgens de norm⁶ -101 dBm bedragen voor een SINAD van 12 dB. Communicatie met vliegtuigen en helikopters moet zeer betrouwbaar zijn, daarom is om tot het vaststellen van de minimale reikwijdte van 46 km, een marge van 10 dB aangehouden. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van een signaalsterkte van -90 dBm (-101 dBm + 10 dB + 1 dB kabelverliezen) en met een vermogen van +7,15 dBW EIRP, zoals verleend in de vergunning door AT. Daarnaast worden de dekingsgebieden getoond voor bij een minimale gevoeligheid van -100 dBm en bij -80 dBm.

De resultaten van de simulaties (Figuur 16 en 17) laten zien dat de minimale vereiste reikwijdte voor antennes 10 en 11 ruimschoots wordt behaald. Afstanden zijn weergegeven in km.



Figuur 16 Dekkingsgebied Aeronautische communicatie met antenne 10 gepositioneerd op 56,5 m hoogte. $P_{tx} = +7,2$ dBW EIRP, $P_{rx @ \text{vliegtuig}} = -100, 90, -80$ dBm (van donkerblauw naar lichtblauw). De rood gestreepte lijn geeft de vereiste minimale afstand van 46 km aan bij een vlieghoogte van 200 m

⁶ EN 300676-1 en -2



Figuur 17 Dekkingsgebied Aeronautische communicatie met antenne 11 gepositioneerd op 56,5 m hoogte. $P_{tx} = +7,2$ dBW EIRP, $P_{rx @ \text{vliegtuig}} = -100, 90, -80$ dBm (van donkerblauw naar lichtblauw). De rood gestreepte lijn geeft de vereiste minimale afstand van 46 km aan bij een vlieghoogte van 200 m.

Conclusie

De vereiste reikwijdte van 46 km wordt voor alle antennes ruimschoots gehaald

7 Ørsted TETRA netwerk dekking

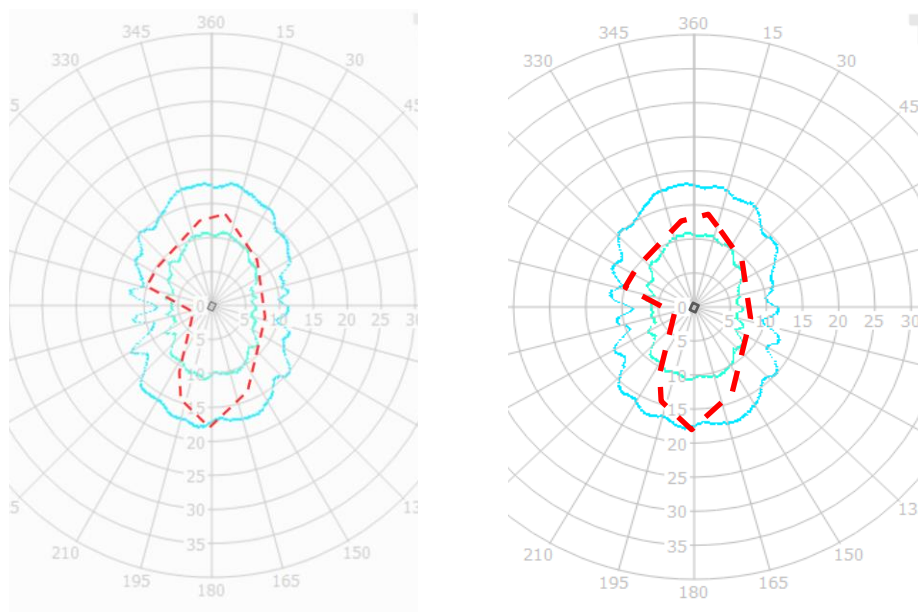
TETRA wordt door Ørsted gebruikt voor alle technische communicatie binnen het windturbine park, maar wordt ook gebruikt voor overleg tussen het platform en schepen die goederen of personeel willen uitwisselen.

Het TETRA netwerk in Borssele Alpha maakt gebruik van twee 8 elements antenna arrays met een elliptisch stralingspatroon. Eén wordt gebruikt voor zenden, de ander voor ontvangst. De arrays staan boven elkaar opgesteld met een onderlinge afstand van 5 m (een bordes ertussen).

Dekking TETRA Basisstation

Voor iedere antenne array is het dekking gebied berekend bij een uitgestraald vermogen van 12,15 dBW EIRP, dit geldt voor zowel TMO als DMO mode. Bij een gesimuleerde versterking van 11 dBi van een array is het toegestane zendvermogen van de zender 1,15 dBW (EIRP - Gain).

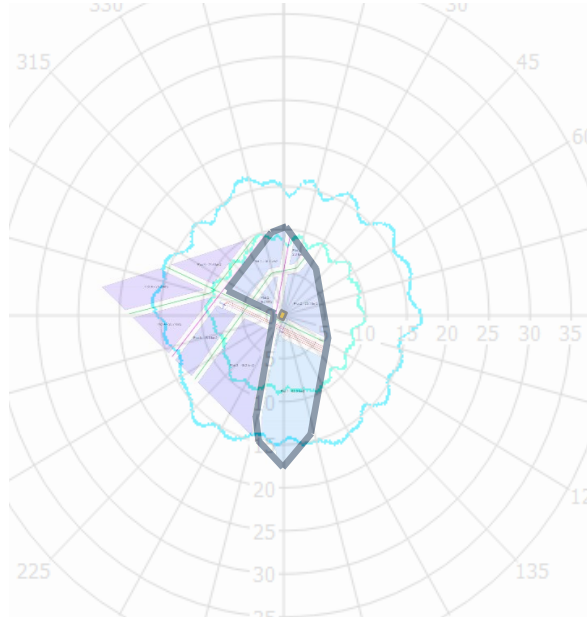
Afstanden in km.



Figuur 18 Contouren in blauw van -90 dBm en -80 dBm (van buiten naar binnen) op 1,5 m hoogte voor TETRA antenne op 59,5 m hoogte (links) en op 55 m hoogte (rechts). Max EIRP is +12,15 dBW.. De rode stippellijn geeft de contouren van het windpark + 1 NM aan.

Dekking van de TETRA Client

Er is 1 specifieke antenne voor TETRA client operaties. Deze antenne is op 50,9 m hoogte opgesteld (5,9 m hoogte in de mast), en heeft een dekkingsgebied dat bijna het gehele windturbine park beslaat, terwijl alleen in de directe omgeving van het platform dekking vereist is. De dekking is berekend bij signaalvermogens van -90 dBm en -80 dBm.



Figuur 19 Dekkingsgebied van TETRA Client, -90 en -80 dBm op 1,5 m hoogte. 12,15 dBW EIRP

Conclusie

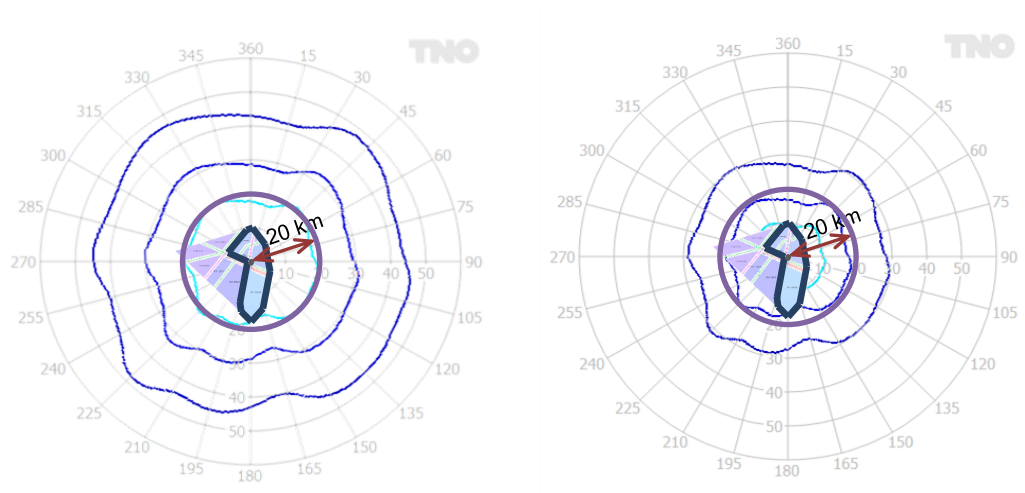
De vereiste dekkingsgebieden bij -90 dBm signaalsterkte op 1,5 m hoogte worden voor de antenne arrays gehaald. De TETRA cliënt gebruikt een simpele dipool antenne en kan niet het hele gebied bestrijken, maar heeft dat ook niet als doel.

8 AIS en AtoN dekking

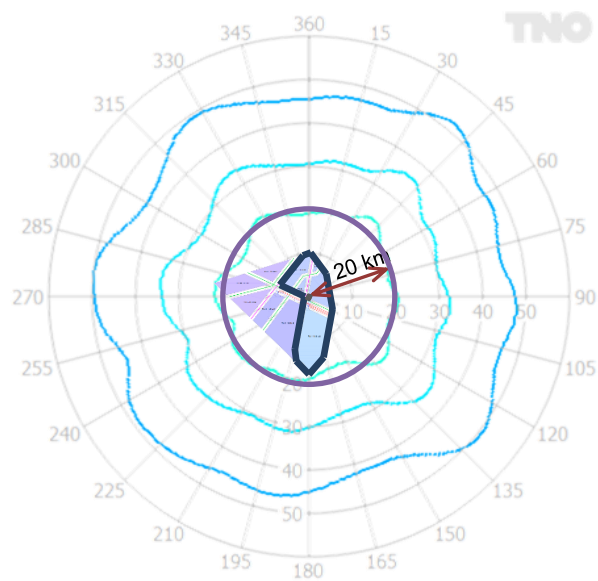
De uitgegeven vergunning staat voor AIS gebruik een maximaal uitgestraald vermogen van +13,2 dBW EIRP toe. Op basis van deze aannames zijn dekkingsgebieden berekend voor een ontvangen vermogen van -90 en -100 dBm bij een hoogte van de ontvangstantenne van 6 m. Voor AIS zijn 3 antennes beschikbaar: nr. 13 en 14, voor RWS (TX resp. RX) en antenne 15 voor Ørsted (alleen RX). Afstanden zijn weergegeven in km.

Definities over minimaal vereiste afstanden worden niet vermeld in de literatuur. Er zijn alleen meldingen gevonden dat “goed uitgeruste Base Stations 40 tot 60 NM bereik kunnen halen”, maar daarbij worden geen ontvanger signaal niveaus vermeld. Bij locatie bepaling op grote afstand is het incidenteel verloren gaan van een pakket niet erg, zodat van een lage signaalsterkte mag uitgaan om het bereik te bepalen. Bij de simulaties is uitgegaan van -100, -90 en -80 dBm, waarbij de -100 dBm waarde als leidend moet worden beschouwd.

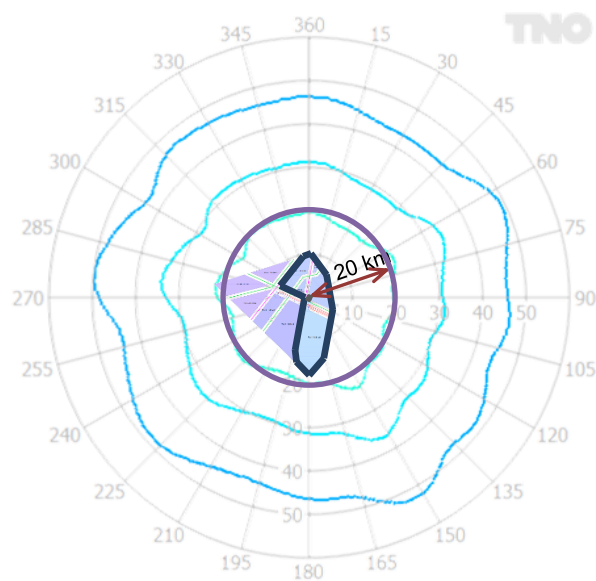
Op basis van -100 dBm is het bereik van de ontvangstantennes 40 km (22 NM) en van de zendantenne met gereduceerd vermogen 26 km.



Figuur 20 AIS zender dekking van antenne 13 op 50 m hoogte. Vermogen is +13,2 dBW EIRP (links) en +3,2 dBW EIRP (rechts). Dekkingsgebieden met contouren op -100, -90 en -80 dBm (van buiten naar binnen). Hoogte scheepsantenne is 6m.



Figuur 21 AIS ontvangstbereik. Hoogte antenne 14 op 58 m. $P_{\text{schip}} = +13.2$ dBW. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{\text{rx @ platform}} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw). Hoogte scheeps zendantenne = 6 m.

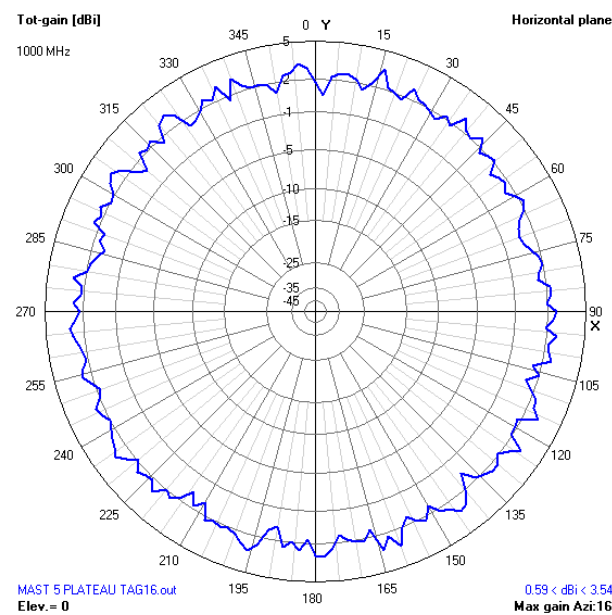


Figuur 22 AIS ontvangstbereik. Hoogte antenne 15 op 58 m. $P_{\text{schip}} = +13.2$ dBW. De lijnen geven de berekende dekking aan op basis van simulaties, $P_{\text{rx @ platform}} = -100, -90$ en -80 dBm (van donkerblauw naar lichtblauw). Hoogte scheeps zendantenne = 6 m.

9

De ADS-B antenne (nr. 16) staat opgesteld ter hoogte van het tweede bordes op een hoogte van 7,4 m (52,4 m boven de zee). Op deze hoogte kijkt de antenne ruim over een eventuele door TenneT te plaatsen, 3 meter hoge, hoogspanningsfilter sectie uit (container formaat).

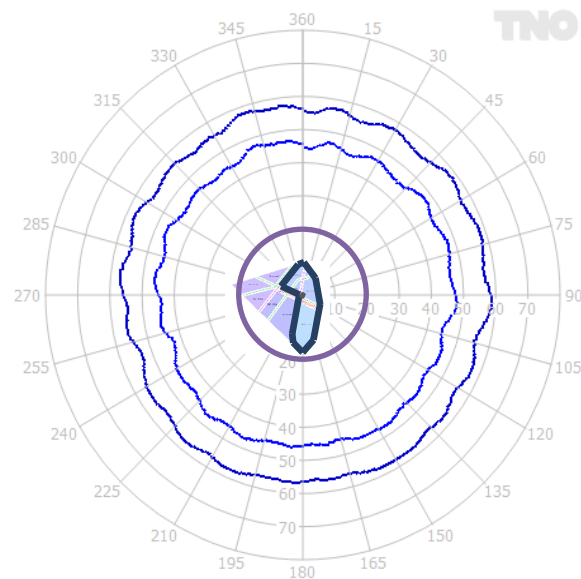
Het antennepatroon wordt wel enigszins verstoord door de metalen mastconstructie, maar de vervorming blijft beperkt tot +/- 1.5 dB, zodat geen verstoring van de werking te verwachten valt.



Figuur 23 Vervorming van het stralingspatroon van de ADS-B antenne op 1090 MHz t.g.v. de mast.

10 Dekkingsgebied RWS LoRa

Long Range technologie (LoRa) is gebaseerd op kleine bandbreedtes en lage data snelheden waardoor een gevoeligheid kan worden bereikt van ongeveer -148 dBm. Zelfs met een klein zendvermogen is het daardoor mogelijk aanzienlijke afstanden te overbruggen. In Figuur 24 zijn de dekkingsgebieden gesimuleerd voor 2 signaalniveaus: -138 en -148 dBm (binnenste, resp. buitenste blauwe lijn).



Figuur 24 Gesimuleerde reikwijdte van een LoRa systeem waarbij de Node met een vermogen van +14 dBm uitzendt en het Base Station beschikt over een antenne met +9dBi versterking.

Opgemerkt moet worden dat de gesimuleerde dekking ver over de Line Of Sight gaat. Hoewel het propagatiemodel daar rekening mee houdt is de verwachting dat de reikwijdte van > 50 km in de praktijk niet wordt gehaald en dat van 30...40 km moet worden uitgegaan.

11 Invloed van de platformkraan op stralingspatronen

Op het 45 meter hoge platformdek is een kraan opgesteld. Het grootste deel van deze kraan is tijdens rust in horizontale toestand opgesteld op een hoogte van ongeveer 6 meter. Deze toestand is de feitelijke operationele situatie gedurende 99% van de tijd.

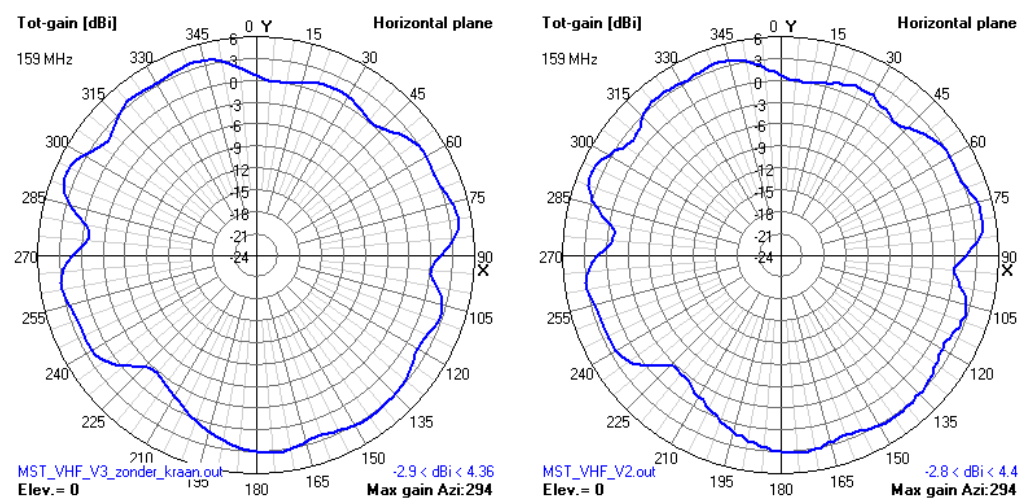
In NEC4 zijn voor 3 verschillende hoogtes, en antennes, simulaties uitgevoerd waarbij stralingspatronen van rondom stralende marifoonantennes (159 MHz) zijn berekend met en zonder de aanwezigheid van deze kraan. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

1. Antenne 5 op 4,5 m hoogte in de mast: Invloed zeer klein.
2. Antenne 9 op 6,5 m hoogte in de mast: Een kleine meetbare invloed is aanwezig (tot ongeveer 1 dB)
3. Antenne 7 op 12,5 m hoogte in de mast: Invloed is nihil

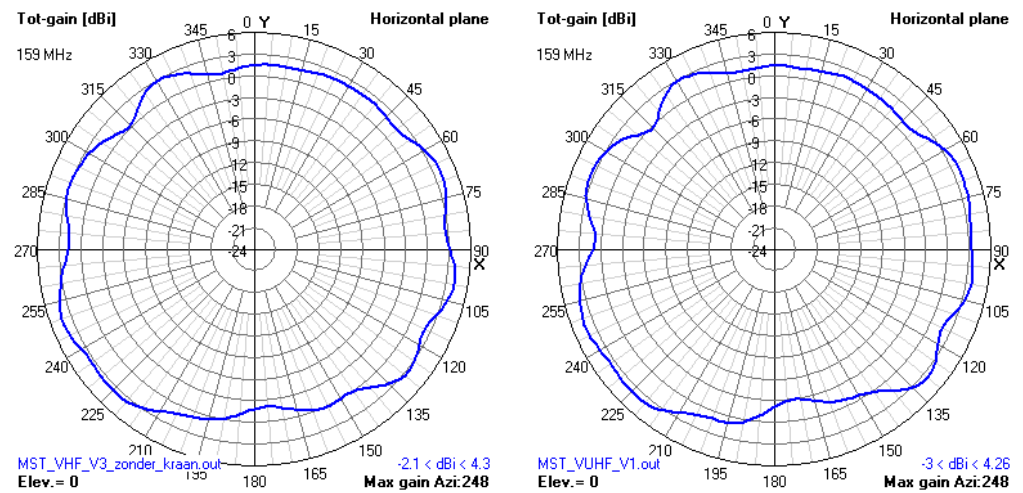
Conclusie: De effecten van de kraan zijn verwaarloosbaar klein indien deze in rusttoestand is gepositioneerd.

Alle dekkingsgebieden in de voorgaande hoofdstukken zijn berekend zonder de aanwezigheid van een kraan.

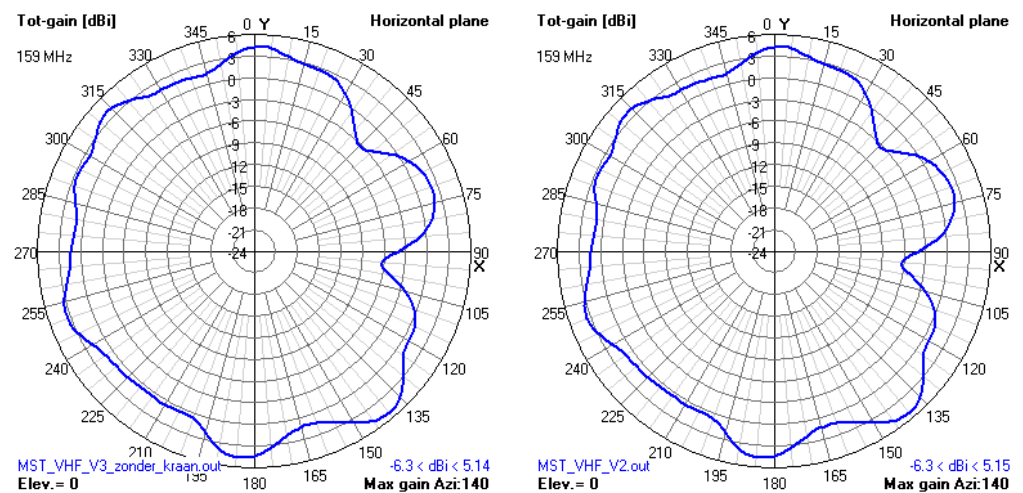
In figuur 25 t/m 27 worden stralingspatronen getoond van antennes 5, 7 en 9, met en zonder de kraan in rustpositie.



Figuur 25 Invloed op stralingspatroon van antenne 5. Links zonder, rechts met kraan (4,5 m antennehoogte)



Figuur 26 Invloed op stralingspatroon van antenne 9. Links zonder, rechts met kraan (6,5 m antennehoogte)



Figuur 27 Invloed op stralingspatroon van antenne 7. Links zonder, rechts met kraan (12,5 m antennehoogte)

12 Conclusies ontkoppeling tussen antennes

In de sensormast op Borssele Alpha (en op volgende platformen, zoals Borssele Beta), worden passieve sensors (zoals windmeters en GPS), actieve sensors (RADAR) en communicatiemiddelen (zoals Marifoon en Tetra) opgesteld. Enkele communicatiesystemen (marifoon, AIS) moeten in dezelfde frequentieband werken zodat een grote mate van isolatie vereist is.

Met NEC4 zijn simulaties uitgevoerd waarbij de afstanden tussen antennes werkend in de 160 MHz marifoonband zijn gevarieerd in horizontaal opzicht (1 tot 3 meter afstand tussen antennes) en verticaal tot een verschil van > 10 m. De invloed van de mast tussen de antennes als extra obstakel is ook onderzocht.

Voor de marifoon frequentieband kan worden gesteld dat bij een verticale afstand tussen antennes van 5 meter de isolatie tenminste 40 dB is, ook als de antennes niet exact boven elkaar staan. Indien de verticale separatie toeneemt tot 10,5 meter dan neemt de isolatie toe tot ongeveer 60 dB. Indien de antennes dusdanig staan opgesteld dat de mast tussen antennes staat, waarbij de antennes elkaar onder een schuine hoek zien (antennes op verschillende hoogtes), dan bedraagt de ontkoppeling ongeveer 6 dB meer dan bij vrij zicht.

Voor Tetra is op 420 MHz een simulatie uitgevoerd met 2 antennes met een elliptische stralingspatroon (8 dipolen per antenne). Bij deze simulaties is de verticale separatie ingesteld op 5 meter, en de horizontale afstand t.o.v. de referentie antenne op 0 en 1 meter gezet. Het verschuiven van de antennes t.o.v. elkaar levert een geringe vermindering van de ontkoppeling op. Doordat er gebruik wordt gemaakt van een array van 8 dipolen is de exacte locatie boven elkaar iets minder kritisch dan bij een enkele antenne, omdat bundelvorming in het verticale vlak optreedt.

De tabellen in de bijlage laten de berekende (theoretische) waarden zien. Deze resultaten zullen met metingen moeten worden geverifieerd, waarbij door de praktische uitvoering van de diverse antennes, zeer waarschijnlijk afwijkingen in de onderlinge koppeling zullen optreden. Vooral bij die situaties waarbij de antennes verticaal van elkaar zijn gescheiden.

De ontkoppeling tussen zenderantennes is soms beperkt t.g.v. de kleine onderlinge afstanden die mogelijk zijn gegeven de afmetingen van de mast. Indien alleen wordt gezonden, dan kunnen deze ontkoppelingen eenvoudig worden vergroot door het aanbrengen van zogenaamde *isolatoren* (antennes 4, 5, 6, 8 en 9).

In situaties waarbij simplex en duplex communicatie gelijktijdig plaatsvindt moet de isolatie tussen zender en ontvanger zodanig zijn dat deze niet wordt overstuurd (niet meer dan 1 dB compressie of *desensitization*). De Marifoon standaard specificeert hiervoor een minimale blockingwaarde van de ontvanger van -11 dBm. Bij gebruik van kanaal 90L (+7,2 dBW EIRP) of standaard gebruik van één van de andere marifoonkanalen waarbij een hoog zendvermogen is toegestaan (+16 dBW), is een ontkoppeling van tenminste 48 dB respectievelijk 57 dB noodzakelijk (+7 dBW < > -11 dBm resp. +16dBW < > -11 dBm). Aan deze voorwaarde wordt met de huidige configuratie alleen voor het lage vermogen (+7,2 dBW EIRP) in de meeste gevallen voldaan. De blockingspecificaties zoals gegeven in de standaard zijn minimale

vereisten, maar in de praktijk blijken de toegepaste Jotron ontvangers hier precies aan te voldoen.

Metingen aan de antenneconfiguratie en meetresultaten van de hebben aangetoond dat de zendvermogens van de marifoons moet worden gereduceerd. Dit zal ten koste gaan van de dekkinggebieden die kleiner worden.

De gebruikte marges bij ontvangst zijn echter dusdanig groot dat hier ruimte in zit. De operationele eisen moeten hierbij worden betrokken.

13 Conclusies

Isolatie tussen marifoon zenders en ontvangers

De Marifoon ETSI standaard specificeert een minimale blockingwaarde waarde van de ontvanger van -11 dBm. Bij gebruik van kanaal 90L (+7,2 dBW EIRP) of standaard gebruik van één van de andere marifoonkanalen waarbij een hoog zendvermogen is toegestaan (+16 dBW), is de minimaal vereiste ontkoppeling tussen zend- en ontvangstantennes 48 dB respectievelijk 57 dB. Aan deze voorwaarde wordt met de huidige mast configuratie alleen bij sterk gereduceerde zendvermogens voldaan. De ontvanger specificaties zoals gegeven in de standaard zijn minimale vereisten, maar gebleken is dat de Jotron TR7750c ontvangers hier precies aan voldoen. Er is dus geen extra marge.

Voor marifonie geldt een maximaal zendvermogen van +16 dBW. Door de beperkte isolatie die er binnen de structuur van de mast mogelijk is, kan dit vermogen niet worden gebruikt zonder andere systemen (ontvangers) te beperken in gevoeligheid. Op basis van de isolatiesimulaties zijn vermogensbeperkingen vastgesteld die vervolgens zijn gebruikt om dekkingsberekeningen uit te voeren. Met deze beperkte zendvermogens zijn in alle gevallen de windparken goed afgedekt inclusief een ruime strook er omheen.

In Stellendam zijn aan de “steigerpijp mock-up” metingen zijn uitgevoerd. De uitkomsten komen in grote lijnen overeen met de simulaties, maar er zijn enkele sterk negatieve en positieve uitschieters. Een verklaring is mogelijk een te grote afwijking tussen de mock-up en het gebruikte simulatiemodel, maar een meetfout of slechte verbinding in de meetopstelling kan niet worden uitgesloten. Vanaf de ontwikkeling van de platforms voor Hollandse Kust Zuid worden in Stellendam exacte replica's van de telecommasten gebruik gemaakt en kunnen de meetwaarden beter worden geïnterpreteerd.

Gezien de afwijkingen tussen de simulatie en de metingen zijn de marifoon en AIS zendvermogens voor BSA daarom gebaseerd op de meer conservatieve simulatiewaarden.

Hieronder worden in het kort de conclusies per onderdeel herhaald.

Ørsted Marifonie

Uit de simulaties blijkt dat bij gebruik van het maximaal toegestane uitgestraalde zendvermogen van +16 dBW, het gevraagde dekkingsgebied, inclusief de strook van 10 NM, wordt gehaald. Het dekkingsgebied waarbij een signaalsterkte van tenminste -90 dBm wordt bereikt omvat het windpark ruimschoots inclusief >95% van de extra strook van 10 NM.

Indien een 20 dB marge wordt aangehouden (-80 dBm ontvangststerkte) dan geldt dat de 10 NM extra niet geheel wordt gedekt.

Bij reductie van het zendvermogen, om gevoeligheidsdegradatie van andere marifonie systemen te voorkomen, geldt dat eerder genoemde dekking in de “+10 NM strook” alleen voor -100 dBm signaal niveau's wordt bereikt.

TenneT Marifonie

Voor alle 3 de antennes geldt dat het windpark Borssele (alle kavels) volledig wordt gedekt op basis van -80 dBm signaalsterkte. Dit bij het maximale uitgestraalde vermogen van +16 dBW.

Reductie van de zendvermogens, om degradatie van de gevoeligheid van andere marifonie systemen te voorkomen leidt tot een signaal niveau dat ongeveer 10 dB lager ligt dan hierboven is aangegeven, maar binnen de 2 kavels liggen de signaalsterkten tussen -90 en -80 dBm.

Tabel 10 Aanbevolen zendvermogens op basis van simulaties en metingen

Radio ID	Gebruiker	Antenna nr.		Power Setting
		TX	RX	
S02-DNG-VHF-04	Ørsted	4	1	3,2 W / 5 dBW
S02-DNG-VHF-05	Ørsted	5	3	5,25 W / 7,2 dBW
S02-DNG-VHF-06	Ørsted	6	2	3,3 W / 5,2 dBW
S04-TNT-VHF-02	TenneT	8 ⁷	27	2,8 W / 4,5 dBW
S04-TNT-VHF-03	TenneT	9	7	5,25 W / 7,2 dBW

Degradatie van de ontvangst kan ook optreden indien de frequentie afstand tussen zend- en ontvangfrequentie ≤ 125 kHz is. De oorzaak hiervan kon niet uit de standaard worden achterhaald, maar moet waarschijnlijk worden gezocht in verminderde specificaties van de oscillatoren en middenfrequent filters.

Het wordt aanbevolen om frequentie afstanden van minder dan 125 kHz tussen zend- en ontvangkanalen te vermijden.

Isolatie tussen marifoon zenders

De ont koppeling tussen zenderantennes die in dezelfde frequentieband opereren is soms beperkt t.g.v. de kleine onderlinge afstanden die mogelijk zijn gegeven de afmetingen van de mast. De ont koppelingen kunnen, indien noodzakelijk, eenvoudig met 20 tot 30 dB worden vergroot door het aanbrengen van zogenaamde *isolatoren*. Dit geldt met name voor antennes 4, 5, 6, 8 en 9.

Aeronautische dekingsgebieden

De minimale vereiste reikwijdte van 46 km wordt ruimschoots behaald voor een signaalsterkte ≥ -80 dBm.

De ont koppeling tussen de zend- en ontvangantenne is slechts 18 dB. Uitgezocht moet worden of dit een probleem is voor de ontvanger, of dat er al rekening wordt gehouden met grote signaalsterktes. Er wordt alleen simplex gewerkt bij Aeronautische communicatie, van blocking is dus geen sprake. Mogelijk moet een bescherming worden opgenomen tegen te hoge signaalniveaus bij de ontvanger (dit is systeem afhankelijk).

Ørsted TETRA

De vereiste -90 dBm signaalsterkte op 1,5 m hoogte wordt voor het gehele vereiste gebied gehaald. De isolatie tussen de arrays is met 42 dB laag, maar het

⁷ TX antenne 8 is oorspronkelijk gekoppeld aan antenne 7 en antenne 9 met 27. Het is beter om antenne 8 voortaan aan antenne 27 en antenne 9 aan antenne 7 te koppelen. Dit geeft een betere isolatiewaarde tussen de antennes.

geïmplementeerde duplex filter zorgt voor voldoende isolatie. De afstand tussen de antennes is voornamelijk bedoeld t.b.v. *diversity* ontvangst, zodat er betere ontvangst is.

AIS

Uit de literatuur kan geen minimale eis worden gevonden over de vereiste reikwijdte, maar op basis van de -100 dBm signaalsterkte contour is de verwachte reikwijdte van BSA

ADS-B

Hier is geen verstoring van de werking te verwachten door de positie in de mast.

LoRa

De gesimuleerde dekking door LoRa is meer dan 50 km bij de gunstigste gevoeligheid. Dit is echter (ruim) over de Line of Sight positie en met de aanname dat de interne antenne in de node optimaal kan functioneren (polarisatie moet exact gelijk zijn aan de zenderantennes). In de praktijk lijkt een maximale reikwijdte van 30...40 km meer waarschijnlijk. In alle gevallen geldt dat er vrij zicht dient te zijn. Het opstellen van een Node achter een (stalen) turbinepaal zal tot aanzienlijke reductie van het bereik leiden.

Er zijn geen simulaties uitgevoerd op de invloed van de kraan op de dekking van LoRa.

Bijlage

Opmerking: De positie van antenne 20 (TETRA Client) is geoptimaliseerd om de ont koppeling met de TETRA Array antennes te vergroten. De onderlinge ont koppelingen in de 420 MHz band zijn daarop aangepast in tabellen 17, 18 en 19, de ont koppelingen met de overige systemen niet vanwege de benodigde doorlooptijd. Er is overigens geen nadelige invloed op de andere systemen te verwachten omdat de 3 TETRA antennes in een geheel andere frequentieband werken dan de overige systemen.

In de tabellen zijn de meetwaarden opgenomen van het zogenaamde “steigerpijp model” te Stellendam. Sommige ont koppelwaarden waarden zijn sterk afwijkend. De oorzaak is mogelijk een te grote afwijking tussen het simulatiemodel en de mock-up of t.g.v. een storing of meetfout.

Tabel 11 Ontkoppeling tussen antenne 1 en overige antennes

Ontkoppeling ANTENNE 1 en...	tussen	Marifoon, 159 MHz	
		Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 2		23.19	52
MARIFOON ANT 3		18.97	35
MARIFOON ANT 4		51.41	57
MARIFOON ANT 5		52.88	56
MARIFOON ANT 6		51.58	58
MARIFOON ANT 7		46.90	49
MARIFOON ANT 8		50.03	62
MARIFOON ANT 9		52.49	57
AVIONICS ANT 10		38.75	45
AVIONICS ANT 11		46.64	48
AIS ANT 13		61.69	57
AIS ANT 14		31.72	42
AIS ANT 15		30.33	35
ADS-B, ANT 16		91.36	75
TETRA TX, ANT 17		38.26	60
TETRA RX, ANT 18		68.39	66
TETRA Client, ANT 20		87.76	60
LoRa, ANT 25		61.69	-
MARIFOON ANT 27		23.47	-

Tabel 12 Ontkoppeling tussen antenne 2 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 2 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	23.19	52
MARIFOON ANT 3	22.49	50
MARIFOON ANT 4	57.75	65
MARIFOON ANT 5	50.00	74
MARIFOON ANT 6	52.34	67
MARIFOON ANT 7	30.28	34
MARIFOON ANT 8	50.37	57
MARIFOON ANT 9	51.05	54
AVIONICS ANT 10	41.95	51
AVIONICS ANT 11	45.67	59
AIS ANT 13	56.14	32
AIS ANT 14	24.91	32
AIS ANT 15	24.88	37
ADS-B ANT 16	93.99	75
TETRA ANT 17	45.67	88
TETRA ANT 18	41.95	66
TETRA Client ANT 20	51.40	71
LoRa ANT 25	41.95	-
MARIFOON ANT27	50.37	-

Tabel 13 Ontkoppeling tussen antenne 3 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 3 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	18.84	35
MARIFOON ANT 2	22.37	49
MARIFOON ANT 4	49.04	55
MARIFOON ANT 5	54.24	58
MARIFOON ANT 6	61.11	62
MARIFOON ANT 7	35.77	55
MARIFOON ANT 8	52.79	60
MARIFOON ANT 9	57.74	54
AVIONICS ANT 10	46.04	48
AVIONICS ANT 11	38.15	60
AIS ANT 13	62.21	62
AIS ANT 14	29.55	35
AIS ANT 15	31.46	45
ADS-B ANT 16	96.36	98
TETRA ANT 17	39.06	59
TETRA ANT 18	68.40	67
TETRA Client ANT 20	77.66	66
LoRa ANT 25	94.27	-
MARIFOON ANT27	38.93	-

Tabel 14 Ontkoppeling tussen antenne 4 en overige antennes

Ontkoppeling ANTENNE 4 en...	tussen	Marifoon, 159 MHz	
		Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1		51.30	58
MARIFOON ANT 2		57.58	65
MARIFOON ANT 3		49.00	54
MARIFOON ANT 5		22.87	30
MARIFOON ANT 6		29.08	41
MARIFOON ANT 7		48.89	53
MARIFOON ANT 8		31.85	58
MARIFOON ANT 9		28.14	46
AVIONICS ANT 10		60.34	60
AVIONICS ANT 11		48.05	53
AIS ANT 13		28.14	54
AIS ANT 14		56.65	61
AIS ANT 15		59.70	71
ADS-B ANT 16		72.56	62
TETRA ANT 17		79.64	86
TETRA ANT 18		68.26	59
TETRA Client ANT 20		55.77	33
LoRa ANT 25		59.99	-
MARIFOON ANT 27		48.41	-

Tabel 15 Ontkoppeling tussen antenne 5 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 5 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	52.63	57
MARIFOON ANT 2	50.00	66
MARIFOON ANT 3	54.39	60
MARIFOON ANT 4	22.92	30
MARIFOON ANT 6	29.30	38
MARIFOON ANT 7	54.62	54
MARIFOON ANT 8	29.56	83
MARIFOON ANT 9	26.56	32
AVIONICS ANT 10	48.81	59
AVIONICS ANT 11	58.52	61
AIS ANT 13	23.56	31
AIS ANT 14	57.47	70
AIS ANT 15	53.34	55
ADS-B ANT 16	103.06	64
TETRA ANT 17	82.38	79
TETRA ANT 18	70.04	31
TETRA Client ANT 20	57.63	32
LoRa ANT 25	68.50	-
MARIFOON ANT 27	54.13	-

Tabel 16 Ontkoppeling tussen antenne 6 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 6 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	51.70	59
MARIFOON ANT 2	52.35	70
MARIFOON ANT 3	61.41	64
MARIFOON ANT 4	29.21	41
MARIFOON ANT 5	29.40	38
MARIFOON ANT 7	49.36	52
MARIFOON ANT 8	30.80	27
MARIFOON ANT 9	26.02	36
AVIONICS ANT 10	63.58	61
AVIONICS ANT 11	60.95	60
AIS ANT 13	20.07	29
AIS ANT 14	53.33	59
AIS ANT 15	59.27	49
ADS-B ANT 16	73.43	57
TETRA ANT 17	76.46	76
TETRA ANT 18	81.36	70
TETRA Client ANT 20	59.96	55
LoRa ANT 25	56.53	-
MARIFOON ANT 27	59.37	-

Tabel 17 Ontkoppeling tussen antenne 7 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 7 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	46.52	49
MARIFOON ANT 2	30.13	34
MARIFOON ANT 3	35.62	59
MARIFOON ANT 4	48.81	54
MARIFOON ANT 5	54.51	54
MARIFOON ANT 6	49.10	52
MARIFOON ANT 8	48.06	51
MARIFOON ANT 9	39.08	70
AVIONICS ANT 10	32.72	49
AVIONICS ANT 11	30.25	67
AIS ANT 13	60.13	53
AIS ANT 14	21.68	35
AIS ANT 15	22.85	31
ADS-B ANT 16	87.14	-
TETRA ANT 17	50.20	-
TETRA ANT 18	67.51	-
TETRA Client ANT 20	77.35	-
LoRa ANT 25	88.84	-
MARIFOON ANT 27	29.38	-

Tabel 18 Ontkoppeling tussen antenne 8 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 8 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	49.94	66
MARIFOON ANT 2	50.42	58
MARIFOON ANT 3	52.84	61
MARIFOON ANT 4	32.04	59
MARIFOON ANT 5	29.69	92
MARIFOON ANT 6	30.86	27
MARIFOON ANT 7	48.40	51
MARIFOON ANT 9	22.25	34
AVIONICS ANT 10	58.73	57
AVIONICS ANT 11	56.70	59
AIS ANT 13	32.01	40
AIS ANT 14	53.98	54
AIS ANT 15	53.39	53
ADS-B ANT 16	60.49	45
TETRA ANT 17	77.24	78
TETRA ANT 18	67.80	65
TETRA Client ANT 20	50.93	-
LoRa ANT 25	66.66	-
MARIFOON ANT 27	54.11	-

Tabel 19 Ontkoppeling tussen antenne 9 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 9 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	52.49	57
MARIFOON ANT 2	50.76	54
MARIFOON ANT 3	57.44	55
MARIFOON ANT 4	28.26	46
MARIFOON ANT 5	26.70	32
MARIFOON ANT 6	26.10	36
MARIFOON ANT 7	39.39	56
MARIFOON ANT 8	22.25	35
AVIONICS ANT 10	44.91	57
AVIONICS ANT 11	55.30	51
AIS ANT 13	30.38	34
AIS ANT 14	61.06	52
AIS ANT 15	58.12	55
ADS-B ANT 16	69.03	-
TETRA ANT 17	76.76	-
TETRA ANT 18	64.34	-
TETRA Client ANT 20	48.18	-
LoRa ANT 25	69.19	-
MARIFOON ANT 27	59.21	-

Tabel 20 Ontkoppeling tussen antenne 27 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 27 en...	Marifoon, 159 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	23.47	Niet gemeten
MARIFOON ANT 2	28.10	Niet gemeten
MARIFOON ANT 3	38.93	Niet gemeten
MARIFOON ANT 4	48.41	Niet gemeten
MARIFOON ANT 5	54.13	Niet gemeten
MARIFOON ANT 6	59.37	Niet gemeten
MARIFOON ANT 7	29.38	Niet gemeten
MARIFOON ANT 8	54.11	Niet gemeten
MARIFOON ANT 9	59.21	Niet gemeten
AVIONICS ANT 10	34.87	Niet gemeten
AVIONICS ANT 11	38.05	Niet gemeten
AIS ANT 13	49.82	Niet gemeten
AIS ANT 14	15.50	Niet gemeten
AIS ANT 15	24.50	Niet gemeten
ADS-B ANT 16	83.37	Niet gemeten
TETRA Client ANT 20	71.64	Niet gemeten
LoRa ANT 25	97.68	Niet gemeten

Tabel 21 Ontkoppeling tussen antenne 10 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 10 en...	Aeronautics, 126,5 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	45.87	35
MARIFOON ANT 2	48.87	54
MARIFOON ANT 3	40.74	42
MARIFOON ANT 4	55.59	47
MARIFOON ANT 5	53.45	60
MARIFOON ANT 6	69.05	64
MARIFOON ANT 7	34.27	47
MARIFOON ANT 8	59.58	57
MARIFOON ANT 9	46.23	67
AVIONICS ANT 11	17.74	27
AIS ANT 13	59.43	68
AIS ANT 14	41.82	49
AIS ANT 15	40.44	54
ADS-B ANT 16	102.62	72
TETRA ANT 17	51.82	53
TETRA ANT 18	49.70	56
TETRA Client ANT 20	73.86	52
LoRa ANT 25	95.54	-
MARIFOON ANT 27	34.87	-

Tabel 22 Ontkoppeling tussen antenne 11 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 11 en...	Aeronautics, 126,5 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	42.20	51
MARIFOON ANT 2	51.54	47
MARIFOON ANT 3	47.60	-
MARIFOON ANT 4	50.80	60
MARIFOON ANT 5	55.48	68
MARIFOON ANT 6	70.99	61
MARIFOON ANT 7	34.72	62
MARIFOON ANT 8	58.83	56
MARIFOON ANT 9	50.78	50
AVIONICS ANT 10	18.09	27
AIS ANT 13	60.19	49
AIS ANT 14	42.62	41
AIS ANT 15	40.36	49
ADS-B ANT 16	85.23	74
TETRA ANT 17	51.97	54
TETRA ANT 18	49.33	51
TETRA Client ANT 20	72.23	52
LoRa ANT 25	102.92	-
MARIFOON ANT 27	38.05	-

Tabel 23 Ontkoppeling tussen antenne 13 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 13 en...	AIS, 162 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	61.88	70
MARIFOON ANT 2	63.08	38
MARIFOON ANT 3	59.04	58
MARIFOON ANT 4	27.32	44
MARIFOON ANT 5	23.81	34
MARIFOON ANT 6	20.10	27
MARIFOON ANT 7	66.22	48
MARIFOON ANT 8	32.53	38
MARIFOON ANT 9	30.87	38
AVIONICS ANT 10	64.23	57
AVIONICS ANT 11	58.25	62
AIS ANT 14	57.15	57
AIS ANT 15	64.03	54
ADS-B ANT 16	84.77	70
TETRA ANT 17	78.46	73
TETRA ANT 18	63.92	66
TETRA Client ANT 20	57.06	63
LoRa ANT 25	60.84	-
MARIFOON ANT 27	49.82	-

Tabel 24 Ontkoppeling tussen antenne 14 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 14 en...	AIS, 162 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	31.31	38
MARIFOON ANT 2	24.79	38
MARIFOON ANT 3	30.61	35
MARIFOON ANT 4	56.94	59
MARIFOON ANT 5	58.92	49
MARIFOON ANT 6	52.88	65
MARIFOON ANT 7	24.60	35
MARIFOON ANT 8	56.53	64
MARIFOON ANT 9	51.66	47
AVIONICS ANT 10	41.10	45
AVIONICS ANT 11	35.36	39
AIS ANT 13	57.53	57
AIS ANT 15	23.26	38
ADS-B ANT 16	89.14	79
TETRA ANT 17	42.17	60
TETRA ANT 18	62.66	63
TETRA Client ANT 20	73.25	58
LoRa ANT 25	90.85	-
MARIFOON ANT 27	15.50	-

Tabel 25 Ontkoppeling tussen antenne 15 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 15 en...	AIS, 162 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	30.27	31
MARIFOON ANT 2	24.45	40
MARIFOON ANT 3	31.31	45
MARIFOON ANT 4	59.79	55
MARIFOON ANT 5	55.41	54
MARIFOON ANT 6	57.46	55
MARIFOON ANT 7	24.17	31
MARIFOON ANT 8	55.16	56
MARIFOON ANT 9	56.11	51
AVIONICS ANT 10	36.78	48
AVIONICS ANT 11	39.67	81
AIS ANT 13	64.21	57
AIS ANT 14	23.27	36
ADS-B ANT 16	85.21	71
TETRA ANT 17	41.44	61
TETRA ANT 18	65.28	70
TETRA Client ANT 20	74.51	59
LoRa ANT 25	110.63	-
MARIFOON ANT 27	24.50	-

Tabel 26 Ontkoppeling tussen TETRA array Antenne 17 en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 17 en...	TETRA, Antenne 17, 420 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	31.73	37
MARIFOON ANT 2	43.40	71
MARIFOON ANT 3	31.31	43
MARIFOON ANT 4	62.83	67
MARIFOON ANT 5	63.01	76
MARIFOON ANT 6	67.57	76
MARIFOON ANT 7	53.45	-
MARIFOON ANT 8	76.26	71
MARIFOON ANT 9	59.85	-
AVIONICS ANT 10	52.01	72
AVIONICS ANT 11	50.37	73
AIS ANT 13	82.75	73
AIS ANT 14	43.81	55
AIS ANT 15	36.31	45
ADS-B ANT 16	74.96	71
TETRA ANT 18	42.86	63
TETRA Client ANT 20	59.97	70
LoRa ANT 25	82.58	-

Tabel 27 Ontkoppeling tussen TETRA array, antenne 18, en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 18 en...	TETRA, antenne 18, 420 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	49.57	62
MARIFOON ANT 2	64.62	65
MARIFOON ANT 3	49.31	57
MARIFOON ANT 4	50.23	73
MARIFOON ANT 5	51.10	64
MARIFOON ANT 6	69.40	73
MARIFOON ANT 7	67.84	-
MARIFOON ANT 8	63.41	67
MARIFOON ANT 9	57.76	-
AVIONICS ANT 10	41.52	73
AVIONICS ANT 11	40.56	75
AIS ANT 13	69.48	67
AIS ANT 14	78.63	56
AIS ANT 15	65.59	63
ADS-B ANT 16	58.93	61
TETRA ANT 17	42.85	63
TETRA Client ANT 20	48.80	59
LoRa ANT 25	71.87	-

Tabel 28 Ontkoppeling tussen TETRA Client. antenne 20, en overige antennes

Ontkoppeling tussen ANTENNE 20 en...	TETRA, antenne 20, 420 MHz	
	Theoretische waarde [dB]	Gemeten waarden [dB]
MARIFOON ANT 1	65.47	56
MARIFOON ANT 2	70.62	61
MARIFOON ANT 3	64.96	57
MARIFOON ANT 4	44.31	44
MARIFOON ANT 5	43.30	50
MARIFOON ANT 6	45.42	58
MARIFOON ANT 7	71.85	-
MARIFOON ANT 8	45.29	50
MARIFOON ANT 9	38.66	-
AVIONICS ANT 10	51.42	78
AVIONICS ANT 11	50.75	72
AIS ANT 13	52.31	55
AIS ANT 14	69.43	63
AIS ANT 15	72.95	71
ADS-B ANT 16	55.44	49
TETRA ANT 17	59.97	66
TETRA ANT 18	48.80	57
LoRa ANT 25	-	-