Federale Overheidsdienst Mobiliteit & Verkeer
Directoraat-Generaal
Luchtvaart Directie Luchtruim, Luchthavens
en Supervisie

City Atrium (6A)
Vooruitgangstraat 56
1210 Brussel
E-mail: BCAA.Airports@mobilit.fgov.be

APPENDIX 4. Hindernisformulier

Te versturen per e-mail in PDF aan BCAA.Airports@mobilit.fgov.be
Belangrijk: volledig in te vullen

Datum: **Referentie:**

1. **Obstakel:** ~~Schoorsteen/ zendmast/ hoogspanningsmast~~/ 1 windturbine (KLZ-WT23)~~/ gebouw/ windmeetmast/ andere (zo ja, welk) …*~~

2. **Materiaal:** ijzer/ steen/ beton/ anders (zo ja, welk) …
   De fundering in gewapend beton, de buismast in staal, gondel in metaal en kunststof en de wieken worden gemaakt van polyester en versterkt met glasvezel, koolstofvezels of een hout-epoxy combinatie.

3. **Inplantingsplaats (adres):**
   KLZ-WT23: industriegebied, geen exact adres (dichtstbijzijnde adres: Willem van Rubroeckstraat 17, 9042 Gent)

   Voor de inplanting van de windturbine zie Bijlage 2.

4. **Coördinaten**
   Lambert-72 coördinaten
   KLZ-WT23: 108781; 205627

5. **Indien van toepassing de gebruikte frequentie:** Niet van toepassing voor voorliggende aanvraag.

6. **Hoogte obstakel boven het maaiveld (AGL):**
   Maximaal 285 m
   Hoogte maaiveld (TAW):
   KLZ-WT23: 8,59 m-TAW

   Hoogte top obstakel (TAW):
   KLZ-WT23: hoogte maaiveld + max. tiphoogte = 8,59 m-TAW + 285 m= 293,59 m-TAW

   Indien een windturbine, rotordiameter:
   Maximaal 175 m
   Bij meerdere obstakels van elk obstakel de hoogte (in AGL) apart vermelden.

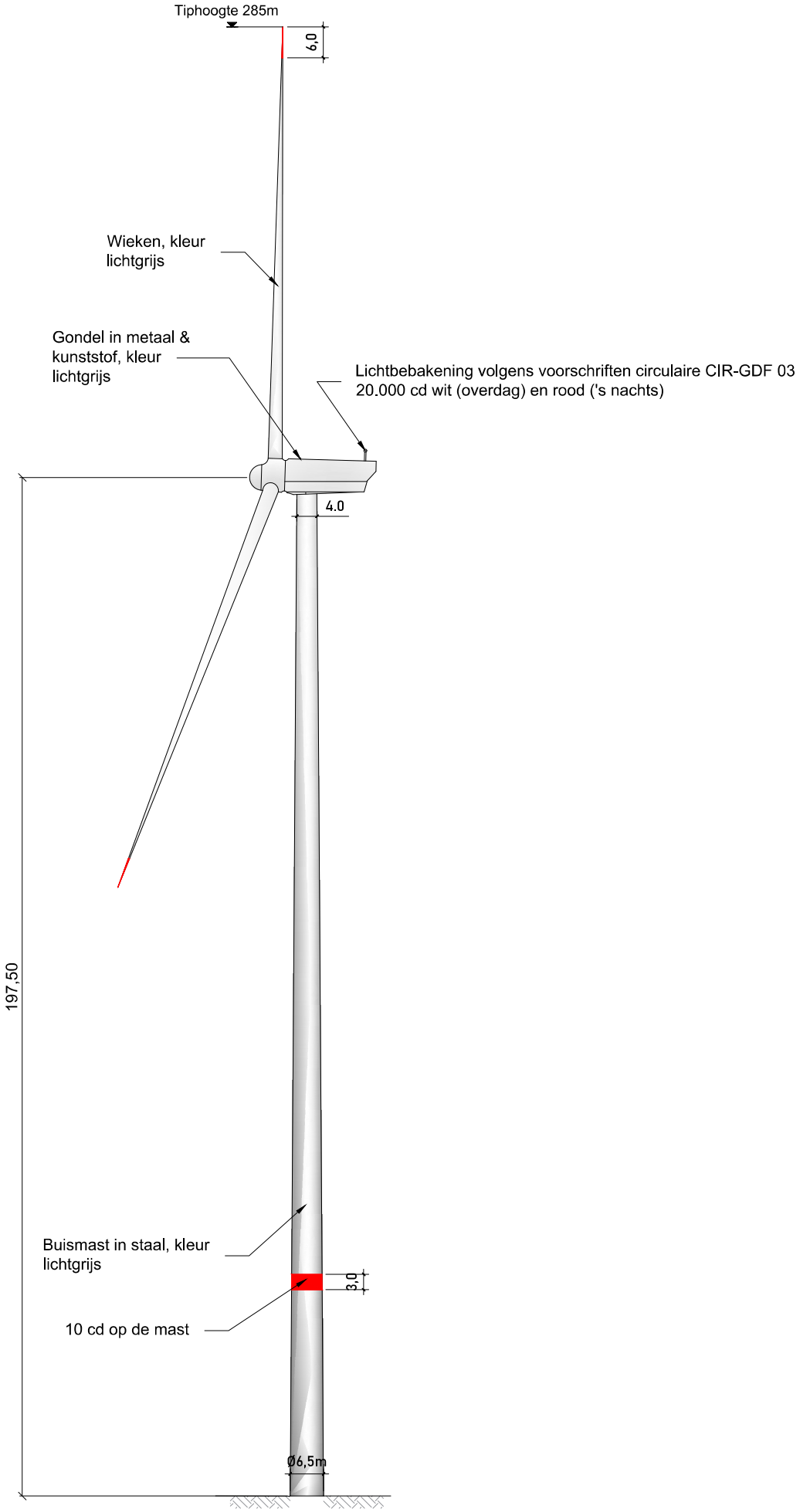
7. **Naam bedrijf:**
   Luminus
   Adres:
   Luminus: Koning Albert II Laan 7; 1210 Sint-Joost-ten-Node

8. **Naam opdrachtgever:**
   Luminus (contactpersoon: Nathan Van Wouwe)
   Adres:
   Koning Albert II Laan 7; 1210 Sint-Joost-ten-Node
   Telefoon:
   0032 474 13 60 23
   E-mail:
   Nathan.VanWouwe@luminus.be
9. **Bijvoegen:**
   Tekening zijaanzicht: Zie bijlage 1
   Overzichtstekening (kaart of luchtfoto) met positie-indicatie van elk obstakel. Zie bijlage 2
   Indien reeds beschikbaar: Simple Engineering Studie, andere luchtvaartstudies, … Zie bijlage 3A (SEA Semmerzake)

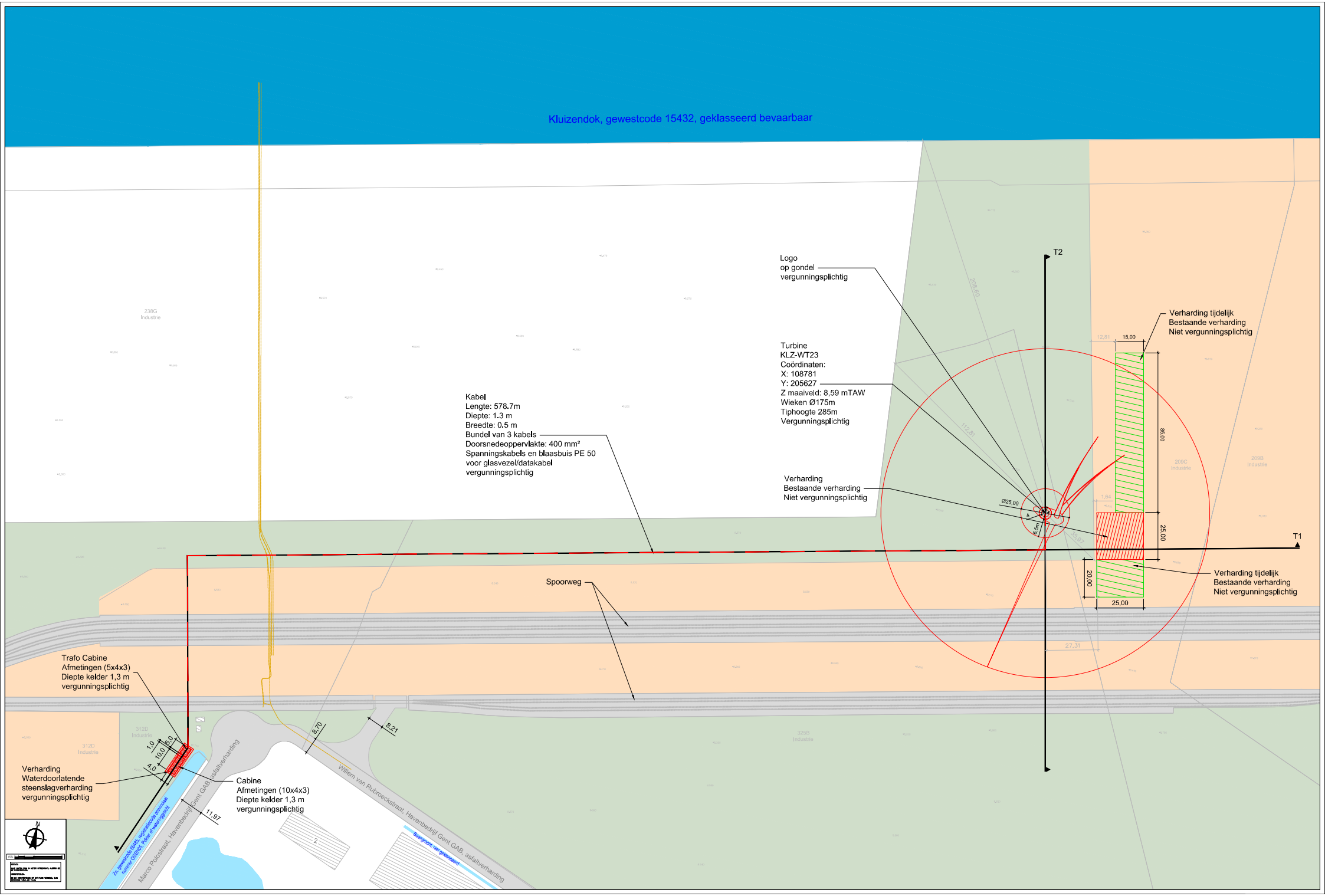
10. **Opmerkingen:**

Bijlage 1 – Zijaanzicht windturbine KLZ-WT23

Buitenaanzicht zijaanzicht



Bijlage 2 – Inplantingsplan KLZ-WT23


Kluizendok, gewestcode 15432, geklasseerd bevaarbaar
Logo
op gondel
vergunningsplichtig
Turbine
KLZ-WT23
Coördinaten:
X: 108781
Y: 205627
Z maaiveld: 8,59 mTAW
Wieken Ø175m
Tiphoogte 285m
Vergunningsplichtig
Kabel
Lengte: 578.7m
Diepte: 1.3 m
Breedte: 0.5 m
Bundel van 3 kabels
Doorsnedeoppervlakte: 400 mm²
Spanningskabels en blaasbuis PE 50
voor glasvezel/datakabel
vergunningsplichtig
Verharding
Bestaande verharding
Niet vergunningsplichtig
Verharding tijdelijk
Bestaande verharding
Niet vergunningsplichtig
Verharding tijdelijk
Bestaande verharding
Niet vergunningsplichtig
Spoorweg
Trafo Cabine
Afmetingen (5x4x3)
Diepte kelder 1,3 m
vergunningsplichtig
Verharding
Waterdoorlatende
steenslagverharding
vergunningsplichtig
Cabine
Afmetingen (10x4x3)
Diepte kelder 1,3 m
vergunningsplichtig
T1
T2
Ø25,00
15,00
95,00
25,00
20,00
25,00
27,31
112,81
238,60
12,81
1,64
65,92
8,5m
8,70
8,21
11,97
1,0
5,0
10,0
4,0
238G
Industrie
312D
Industrie
325B
Industrie
209C
Industrie
209B
Industrie
Marco Polostraat, Havenbedrijf Gent GAB, asfaltverharding
Willem van Rubroeckstraat, Havenbedrijf Gent GAB, asfaltverharding
Zie gewestelijk GIMS, registratienota nummer(s) [GENK]. Punt of meting niet gevonden
Baangracht, niet geklasseerd
2
N

Bijlage 3A – SEA Semmerzake

Studie omtrent de mogelijke impact van een windturbine aan het Kluizendok, haven Gent "Stukwerkers" op de radar van Semmerzake

Simple Engineering Assessment volgens Eurocontrol Guide 130





In opdracht van Luminus

Prof.dr.ir.J.Catrysse (07/03/2026)

Inhoudstafel

1. **Inleiding**

2. **Gegevens van de radarinstallatie en de geplande windturbine**
   2.1. Gegevens van de radarinstallatie
   2.2. Gegevens van de geplande wiondturbine

3. **Document van EUROCONTROL**

4. **Radardoorsnede (RCS) van vliegtuigen**

5. **Radardoorsnede (RCS) van een object**

6. **Vraagstelling bij de inplanting van een windturbine, "Stukwerkers" haven Gent**
   6.1. Line of Sight (LoS)
   6.2. Clutter en CFAR
   6.3. Meervoudige reflecties of valse echo's
   6.4. Schaduwing en verminderd bereik

7. **Eenvoudige studie PSR volgens §4.3 van het EUROCONTROL document**
   7.1. Generalities en LoS
   7.2. PSR shadowing achter de geplande windturbine
   7.3. PSR valse echo's van windturbines en andere objecten (vliegtuigen)
   7.4. PSR processing overload
   7.5. PSR raised thresholds

8. **Conclusies**

Annex 1. Probability of detection (Swerling)
Annex 2. CFAR
Annex 3. VCC methodology (software reductie van de clutter)
Annex 4. Verminderde zichtbaarheid diverse RCS voor het project "Stukwerkers"
Annex 5. Verminderde zichtbaarheid voor diverse RCS voor de bestaande situatie

Opmerking:

Alle gegevens in dit document omtrent de radarinstallatie in Semmerzake kunnen gevonden worden in documenten die vrij op het Internet beschikbaar zijn.

Deze studie is de eenvoudige analyse, die buiten een straal van 15 km nodig is, volgens het EUROCONTROL document: *"Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors"*

Studie omtrent de mogelijke impact van een windturbine op de site “Stukwerkers” op de radar van Semmerzake

Simple Engineering Assessment volgens Eurocontrol Guide 130

1. Inleiding

Voor het repowering van een windturbine op de site “Stukwerkers” aan het Kluizendok van de haven Gent, dient rekening gehouden met de militaire radarpost die zich in Semmerzake bevindt. Het betreft één van de twee militaire (NATO) radarposten, die het Belgische luchtruim (en meer) bewaken en controleren.
Behalve het EUROCONTROL-GUID-0130 document: *“**Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors**”*, is er nog een recente locale richtlijn, die stelt dat voor een tiphoogte tot 300 m, er een “***detailed engineering assessment***” nodig is binnen een afstand van 22 km. Daarbuiten blijft het EUROCONTROL document uiteraard van toepassing waarbij in de LoS een “***simple engineering assessment***” dient uitgevoerd te worden. Deze afspraak geldt zowel voor de civiele luchtvaart als Defensie.

2. Gegevens van de radarinstallatie en van de geplande windturbine

2.1. De radarinstallatie van Semmerzake betreft een type radar Martello S723 van Marconi.





Deze bestaat uit een hele reeks kleine antennes, die in rijen en kolommen gebouwd zijn, en elk afzonderlijk kunnen gevoed en aangestuurd worden (phased array antenna).

In Semmerzake is deze antenne ingebouwd in een grote witte koepel van kunststof, als bescherming tegen de weersomstandigheden (zie voorblad).
Bekende technische gegevens voor het gedeelte PSR radarinstallatie zijn:

- Frequentiegebied: IEEE L-band (vroeger Nato-D-band): 1 – 2 GHz
- 132 kW piekvermogen
- Reikwijdte tot maximaal 256 Nm (zowat 450 km), bij voldoende grote RCS waarden
- Elevatie met een bereik tot 20°
- Bundelbreedte van 1.6°
- 3D positiebepaling van de targets
- Vermoedelijke antenna-gain van 40 dB en zijlobe-onderdrukking van – 30 dB
- Noise level receiver – 125 dBW en een detectie level van – 119 dBW

Het stralingspatroon is in verticale richting een “cosecant squared” patroon, zoals hieronder schematisch weergegeven (blauwe omhullende figuur links, rechts Marconi S723).

De 3D mogelijkheden worden bekomen door een aangepaste phased-array aansturing bij ontvangst, zodat virtueel een smalle bundel in de hoogte (elevatie) kan verschoven worden.

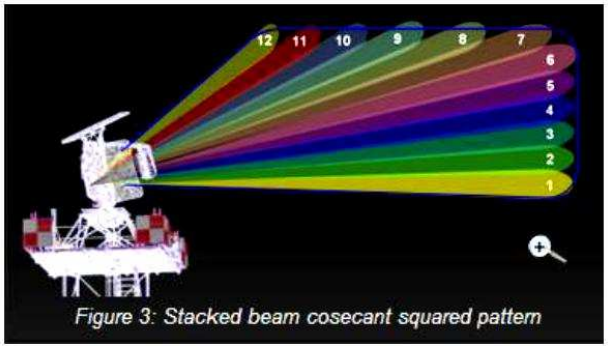
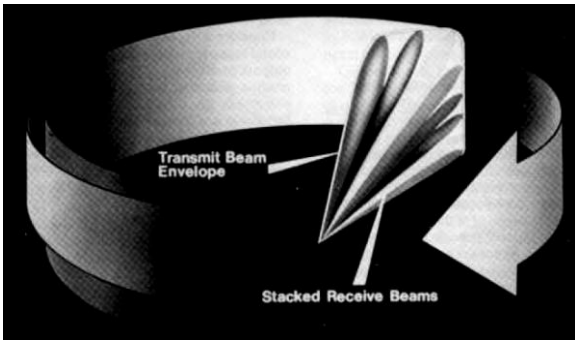
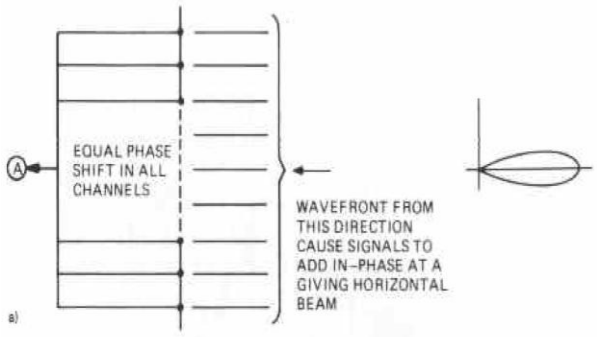
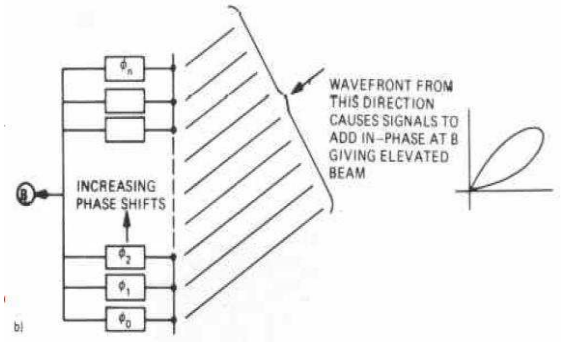
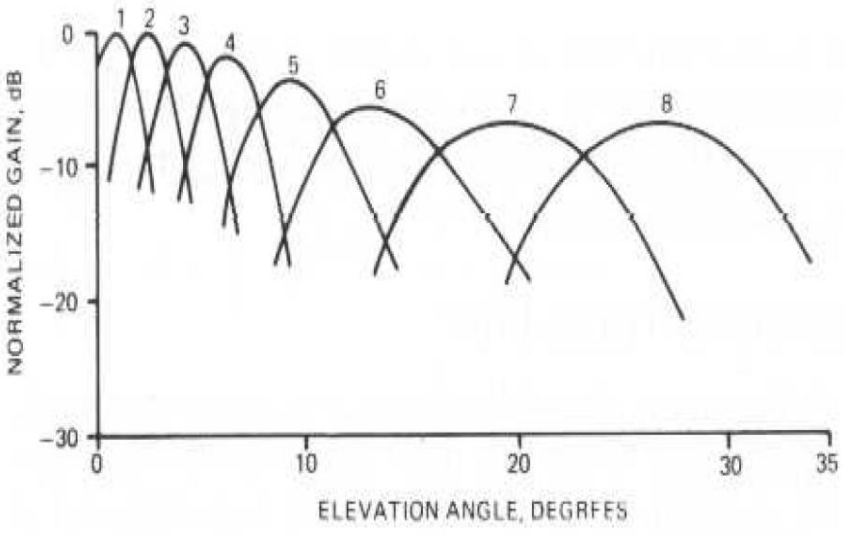


Figure 3: Stacked beam cosecant squared pattern

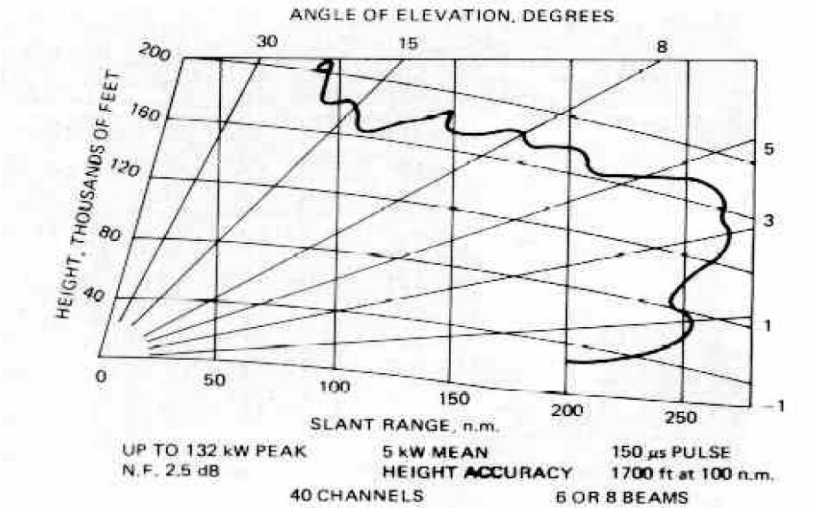




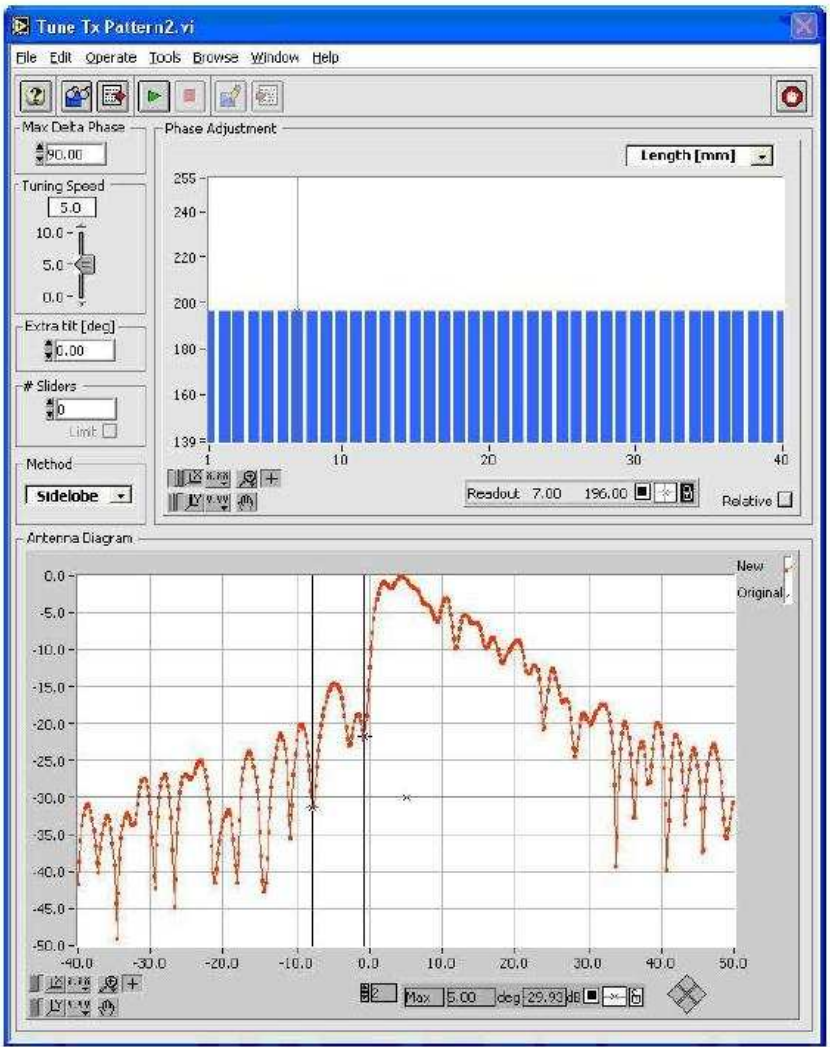




Voor de Marconi S723 worden daarbij typisch 8 bundels gegenereerd, met een eigen bundelbreedte in functie van de elevatiehoek.
Meer gegevens hierover in de paper: "***C. Latham, Martello – A modern 3 D surveillance radar, The GEC Journal of Research, Vol. 3 No.2, 1985***" en ***technische documentatie van Marconi/Martello***.



Bovenstaande figuur toont in functie van de afstand (nm) , de ronding van de aarde en de elevatie, wat als de praktische verticale bundel kan beschouwd worden (***doc. Marconi***).



Uit bovenstaande (rudimentaire) gegevens kan afgeleid worden dat in verticale richting het stralingspatroon relatief egaal is (cosecant squared), zodat zelfs relatief kleine obstakels met een geringe hoogte nog steeds met het volle beschikbare vermogen zullen bestraald worden.

Bij ontvangst van het gereflecteerde signaal worden de signalen van de verschillende elementen van de array afzonderlijk en aangepast verwerkt, zodat er "virtueel" 8 bundels in verticale richting ontstaan. De laagste bundel heeft daarbij een elevatiehoek van 1°. Op een afstand van 15 km zal deze laagste bundel gecentreerd zijn op een hoogte van 260 meter en op 25,4 km is dat zowat 440 meter. Dit betekent dat voor deze laagste radarbundel, voor obstakels met zelfs een geringe hoogte, de volledige ontvangstgevoeligheid dient in aanmerking genomen te worden.
De tweede bundel heeft een elevatiehoek van 2.5°, wat overeenkomt met een hoogte van 650 meter op 15 km afstand en 1125 meter op 25,4 km. Men mag aannemen dat op grondniveau de ontvangstgevoeligheid met 10 à 20 dB gedaald zal zijn. Dit betekent in de praktijk dat voor deze tweede bundel, bij obstakels met kleinere hoogte, een gereduceerde gevoeligheid mag in aanmerking genomen worden om de signaalsterkte bij ontvangst te evalueren.

2.2. Windturbine op de site "Stukwerkers"

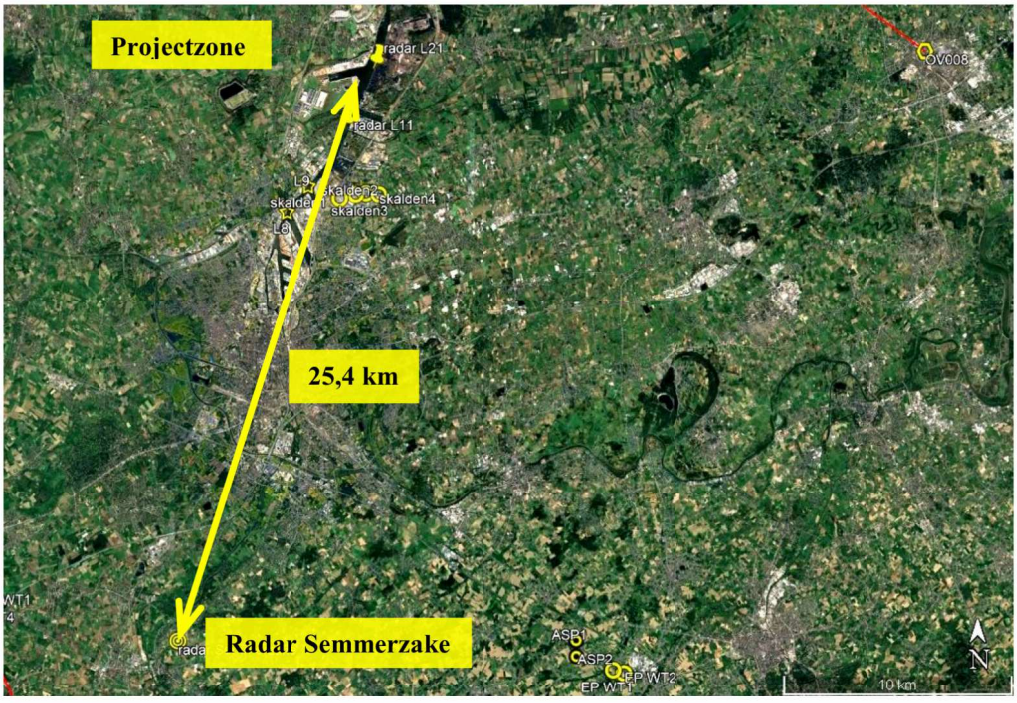
Het exacte type windturbine is voor dit project nog niet definitief vastgelegd, waarbij een en ander zal afhangen van zowel de technische specificaties en mogelijkheden, als de financiële impact omtrent de investeringen.

Voor deze studie wordt in eerste instantie uitgegaan van de volgende gegevens voor de windturbines, zoals die vandaag voor on-shore toepassingen gebruikelijk zijn, en waarbij de fysische parameters als de maximaal (worst case) kunnen beschouwd worden.

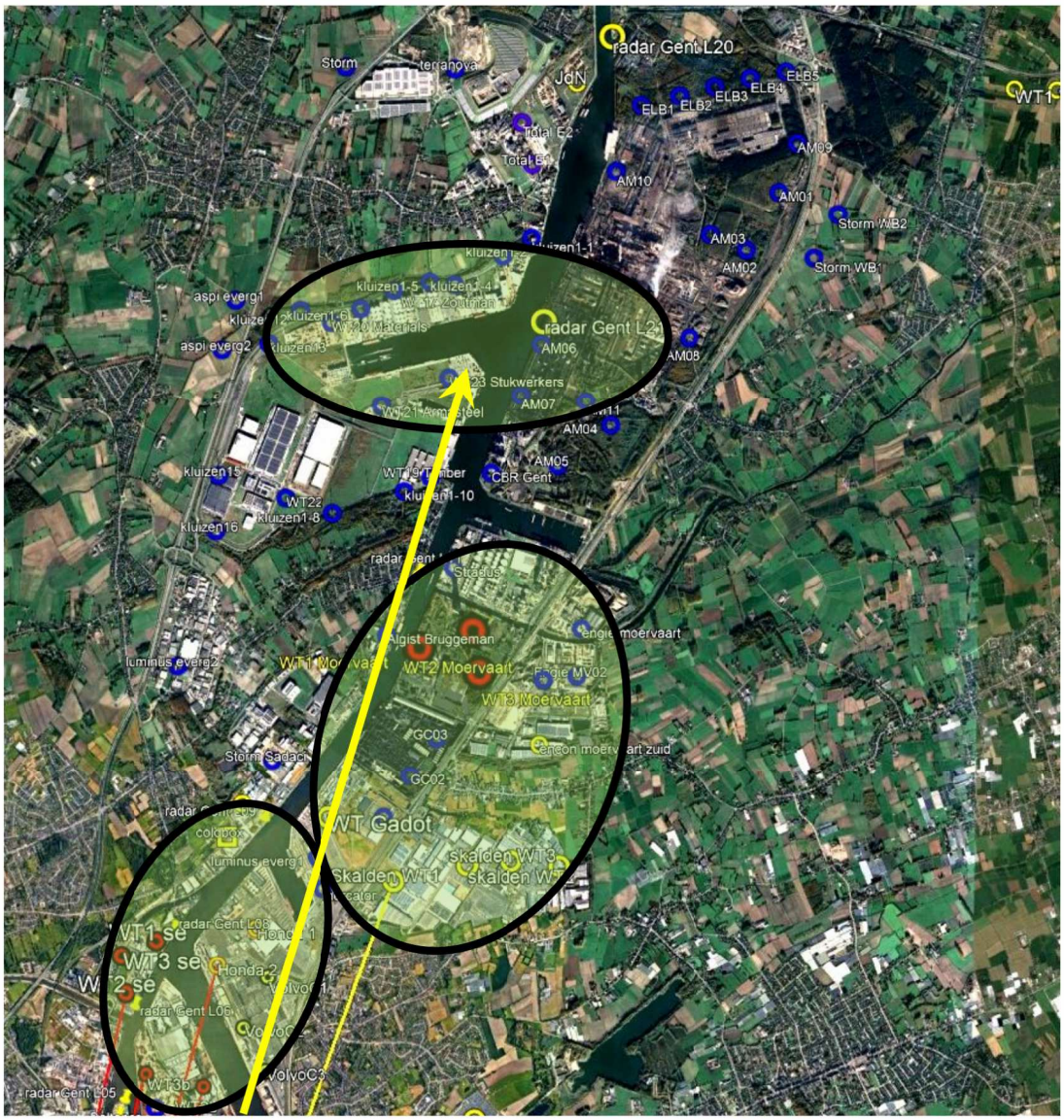
Type	Rotordiameter	Masthoogte	Tiphoogte	Mast laag	Mast hoog
xxx	175 m	162,5 à 192,5 m	250 à 280 m	typisch 6 à 8 m Φ	typisch 4 à 6 m Φ

Als worst case analyse wordt in dit rapport uitgegaan van een stalen licht-conische mast.
De nieuwe windturbine heeft een inplanting zoals in de volgende tabel:

Lambert 72 coördinaten	x-coördinaat	y-coördinaat	NB	OL
Stukwerkers	**108 781**	**205 627**	**51°9'33.13"**	**3°46'46.40"**



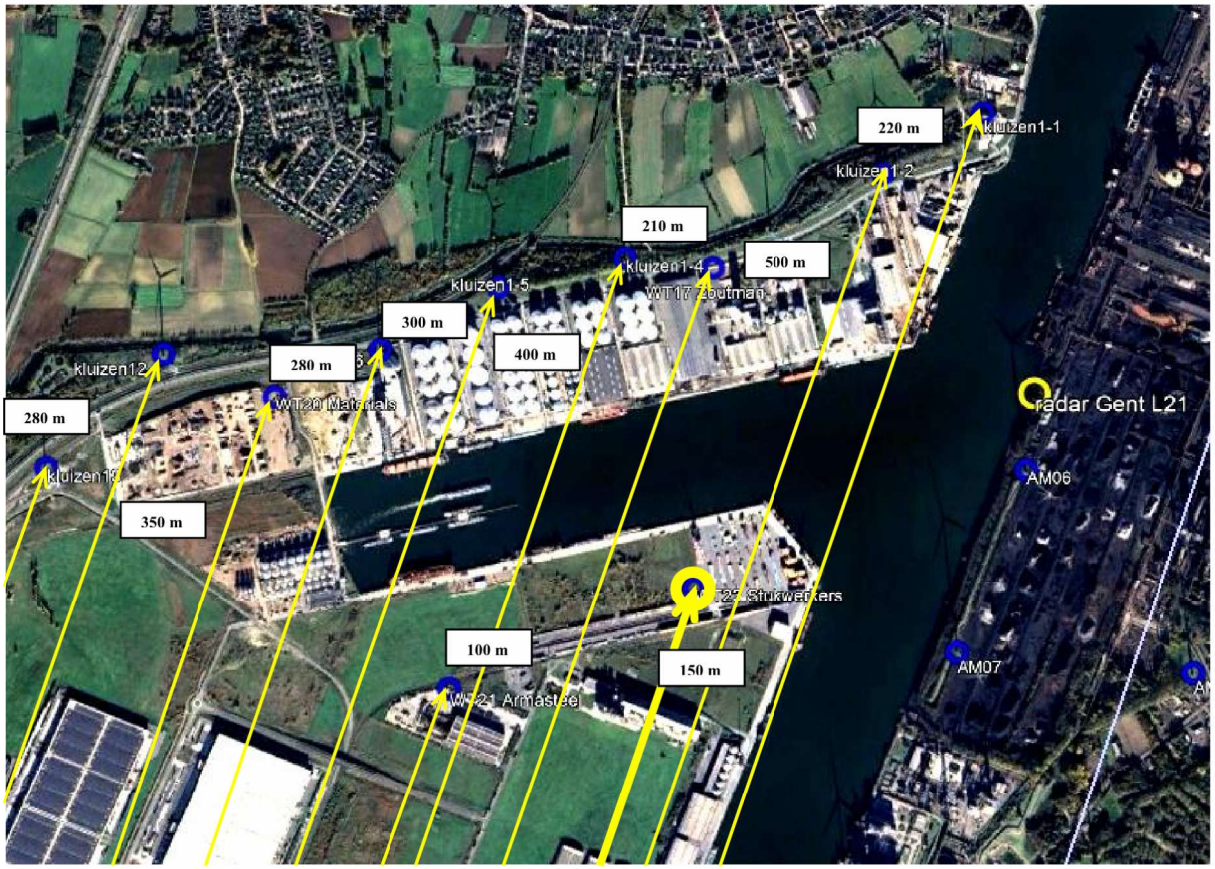
Rond de as radar/windturbine bevinden zich aan de dokken van de Gentse haven een groot aantal windturbineprojecten, al dan niet reeds operationeel, in uitvoering als in ontwikkeling.



Het is duidelijk dat de geplande windturbine gelegen is middenin en achter een omgeving waar reeds een groot aantal windturbines in exploitatie zijn, dan wel in opbouw, gegund of in ontwikkeling. Bovenstaande figuur toont een globaal overzicht als “momentopname” van de situatie zoals die in maart 2026 bekend is.

De volgende figuur geeft in detail de ligging van de repowering windturbine, en de windturbines om en rond het Kluizendok.
Het is duidelijk dat deze gehele regio als een quasi-cluster dient beschouwd te worden, waarbij de vraag zich stelt in hoeverre het project “Stukwerkers” al of niet gedeeltelijk zal gemaskeerd zijn door het voorliggende gebied aan de dokken van de Gentse havenzone, en een directe locale cluster vormt met alle windturbines om en rond het Kluizendok zelf.
Het beduidende onderscheid tegenover de bestaande situatie is de masthoogte/tiphoogte van de windturbine van dit repowering project. Daarom wordt verder ingegaan op het effect van deze windturbine op de lijn van de eigen radaras, maar ook wordt als referentie een analyse gemaakt van de huidige situatie.

Verder dient er opgemerkt te worden dat de tweede radarbundel niet dient in aanmerking genomen te worden. De bundelas van de tweede radarbundel heeft een hoogte van 1125 m op een afstand van 25,4 km en kan dus reeds bij het geheel van de havendokken buiten beschouwing gelaten worden naar een mogelijk effect van verminderde zichtbaarheid achter diverse objecten.



De tabel op de volgende bladzijde geeft een overzicht van alle windturbines (en projecten) in de directhe omgeving van het Kluizendok, zoals die op de voorgaande figuur aangegeven zijn.

3. Document van EUROCONTROL-GUID-0130

In Mei 2010 is het document "EUROCONTROL-GUID-0130: "***Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors***" goedgekeurd en gepubliceerd. De radarinstallatie in Semmerzake is een type "Primary Surveillance Radar" (PSR), waarvoor de volgende tabel als richtlijn geldt:

Zone	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Description	0 - 500 m	500 m - 15 km and in radar line of sight	Further than 15 km but within maximum instrumented range **and in** radar line of sight	Anywhere within maximum instrumented range but **not in** radar line of sight or outside the maximum instrumented range.
Assessment Requirements	**Safeguarding**	**Detailed assessment**	**Simple assessment**	**No assessment**

Table 1: PSR recommended ranges

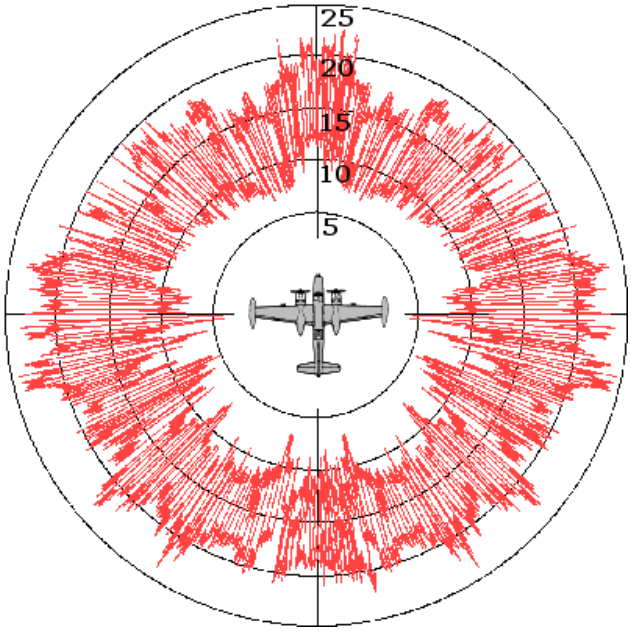
Uit deze tabel volgt dat voor "zone3" een eenvoudige analyse het voorwerp dient uit te maken van een studie omtrent de mogelijke impact.

volgnr	Gemeente	Windturbine	referentie situatie (B)	geluid referentie situatie	Lambert X	Lambert Y	Rotordiameter (m)	Hub	tip	Turbine Type(s)
1	Gent	Transferium	behoud	103D 97,5N	109653	206929	175	192,5	280	E70-E4-2000
2	Gent	KLI WT 2	behoud	103D 97,5N	109337	206834	71	98	133,5	E70-E4-2000
4	Gent	KLI WT 4	behoud	103D 97,5N	108595	206585	71	98	133,5	E70-E4-2000
5	Gent	KLI WT 5	behoud	103D 97,5N	108233	206502	71	98	133,5	E70-E4-2000
6	Gent	KLI WT 6	behoud	103D 97,5N	107898	206322	71	98	133,5	E70-E4-2000
8	Gent	KLI WT 8	behoud	103D 97,5N	107596	204270	71	98	133,5	E70-E4-2000
10	Gent	KLI WT 10	behoud	103D 97,5N	108320	204485	71	98	133,5	E70-E4-2000
11	Gent	KLI WT 11	Niet opnemen in evaluatie	afgebroken/ 103D 97,5N	108672	204558	71	98	133,5	E70-E4-2000
12	Evergem	KLII WT 12	behoud	105,6D 99N	107283	206313	104	100	152	S3,4M104-3400
13	Evergem	KLII WT 13	behoud	105,6D 99N	106963	205983	104	100	152	S3,4M104-3400
15	Evergem	KLII WT 15	behoud	105,6D 105,6N	106447	204659	104	100	152	S3,4M104-3400
16	Evergem	KLII WT 16	behoud	105,6D 105,6N	106409	204106	104	100	152	S3,4M104-3400
17	Gent	WT17 Zoutman	gebouwd	104,8	108845	206555	162	166	247	V162 6,2MW HH166m
19	Gent	WT 19 van Hoorebeke Timber	nog niet gebouwd	106,6D 100,8N	108589	204627	nvt	nvt	nvt	nvt
20	Evergem	WT 20 AC Materials	gebouwd	104,8	107601	206186	162	166	247	V162 6,2MW HH166m
21	Gent	WT 21 Armasteel	In ontwikkeling	/	108099	205347	175	162,5	250	V172 250m 6,8MW V172 252m 6,5MW E175 249m 6MW N175 249m 6,8MW
22	Evergem	WT 22 Magelaanstraat	In ontwikkeling	/	107120	204429	175	192,5	280	V172 285m 6,8MW E175 262,5m 7MW N175 266,5m 6,8MW
23	Gent	WT 23 Stukwerkers	In ontwikkeling	/	108781	205627	175	162,5	250	V172 250m 6,8MW V172 252m 6,5MW E175 249m 6MW N175 249m 6,8MW

4. Radardoorsnede van vliegtuigen

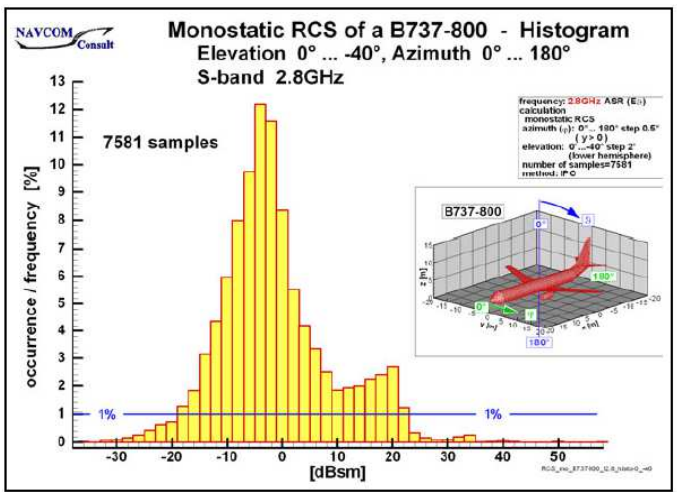
Een belangrijke parameter in het geheel is de radardoorsnede of “Radar Cross Section (RCS)” van de betrokken vliegtuigen (nuttig doel) als van andere obstakels.
Voor beide zijn niet altijd alle gegevens bekend, maar blijken uit een aantal studies toch de volgende typische voorbeelden.

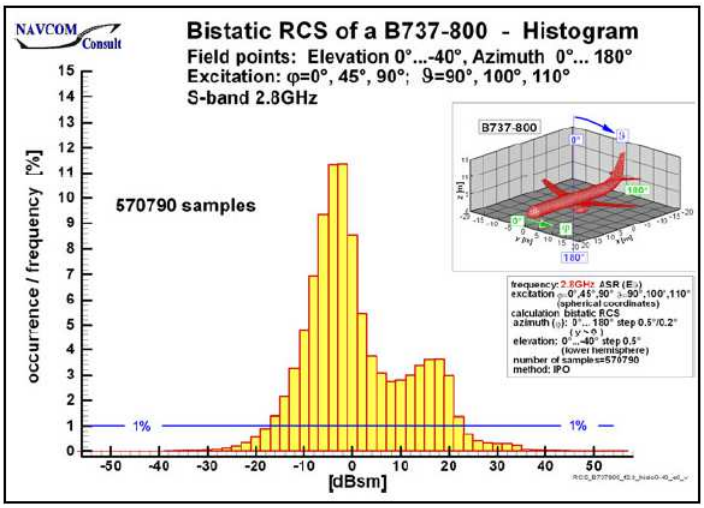
In de vakliteratuur worden een aantal RCS karakteristieken van vliegtuigen gevonden. Een typisch voorbeeld wordt hieronder gegeven.



RCS-waarden in dB square meter (dBsqm)

Hieruit blijkt dat de (bistatische) RCS waarde van een vliegtuig geen vast getal is, maar varieert volgens de invals- en observatierichting. Maar een waarde van 10 à 20 dBsqm kan als een goede waarde genomen worden voor een aantal berekeningen (afhankelijk van de parameter dient met een minimale of maximale waarde rekening gehouden voor een worst case analyse). Een RCS van 10 dBsqm komt overeen met 10m^2 en 20 dBsqm met 100 m^2.
Gelijkaardige conclusies volgen uit een statische analyse door Greving voor zowel een Boeing 737 [*Greving 2007 - Navcom Consult*], zoals hieronder weergegeven. Ook de gegevens voor een Boeing 747 zijn in de literatuur beschikbaar [*Greving IRS 2009]*.
Verder kan aangenomen worden dat Swerling 1 voor variabele RCS mag toegepast worden.





5. Radardoorsnede van windturbines

Uit een aantal studies (o.a. uitgevoerd door QinetiQ), en gebaseerd op zowel simulaties als metingen in de praktijk (weliswaar op slechts een paar types windturbines), kan toch gesteld worden dat een windturbine een gemiddelde RCS heeft die eveneens tussen 10 dBsqm (of dus 10 m^2) en 20 dBsqm (of dus 100 m^2), en een uitzonderlijke piekwaarde van 30 dBsqm .

De RCS waarde is daarbij erg afhankelijk van zowel de pitch als de yaw van de windturbine met betrekking tot de invallende radarsignalen.

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

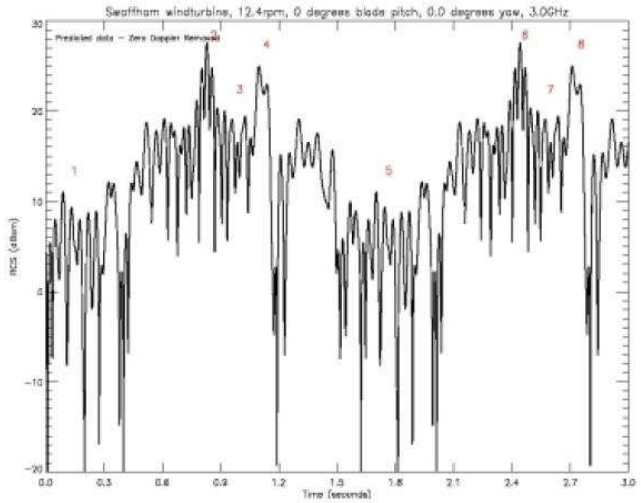
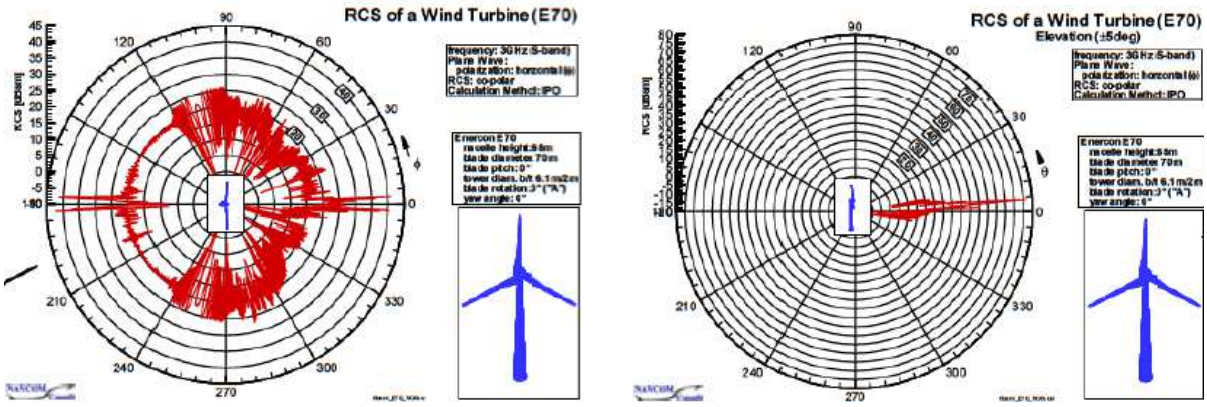


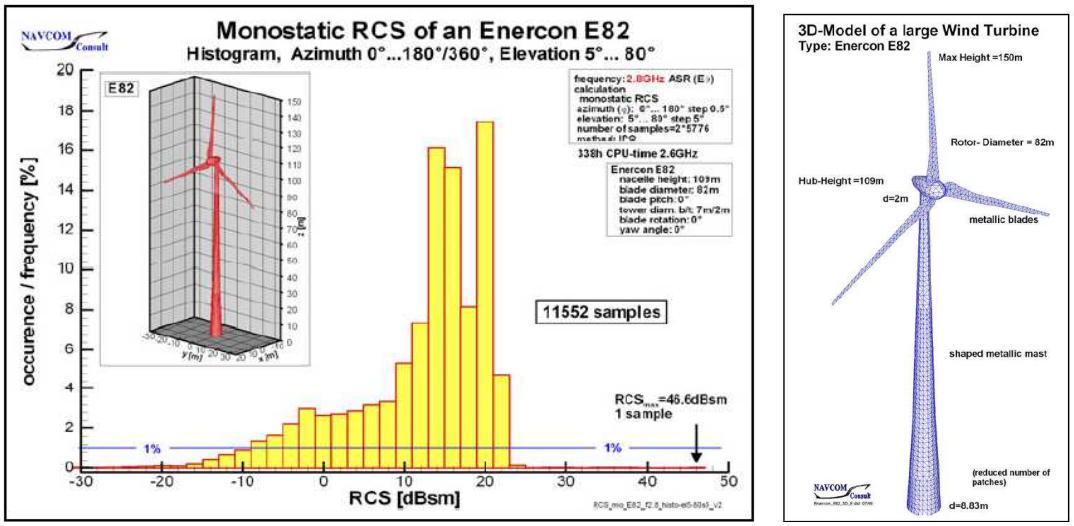
Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

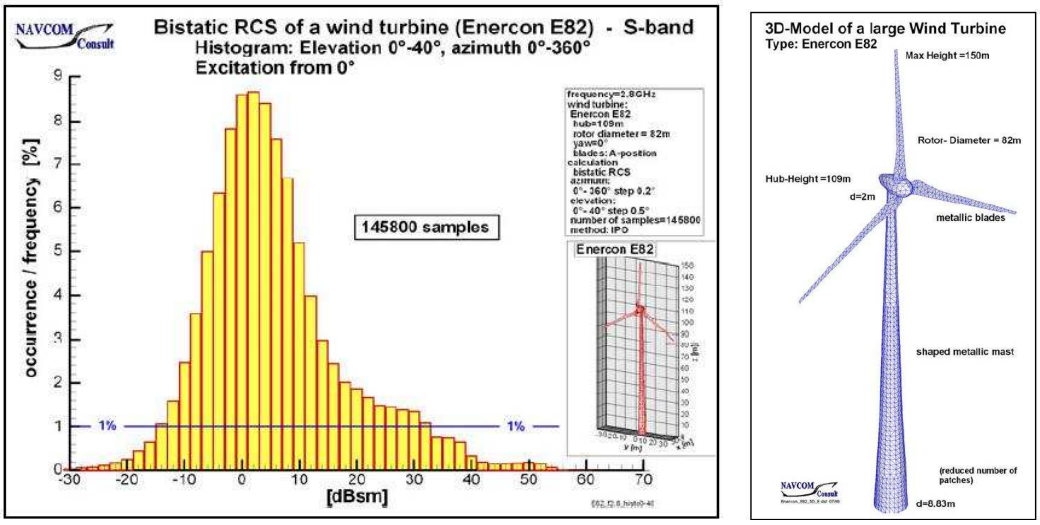
Hierbij dient expliciet opgemerkt te worden dat er wordt uitgegaan van een conische mast, waarbij de bistatische RCS bijdrage als vrij klein dient beschouwd te worden, en dat in tegenstelling tot een cilindrische mast, waarbij de RCS bijdrage aanzienlijk is. Dit blijkt uit een aantal studies uitgevoerd door BAEsystems en QinetiQ.

Ook een studie door Navcom toont de RCS van een Enercon E70 turbine in 3D:



Meer statistische gegevens zijn beschikbaar in studies door Navcom voor een Enercon E82 windturbine [Greving 2007] – met een masthoogte van 110 m en een tiphoogte van 150 m.

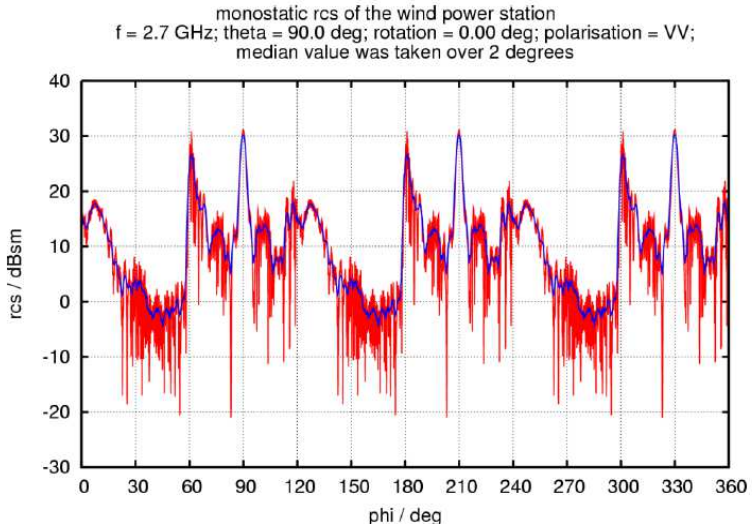


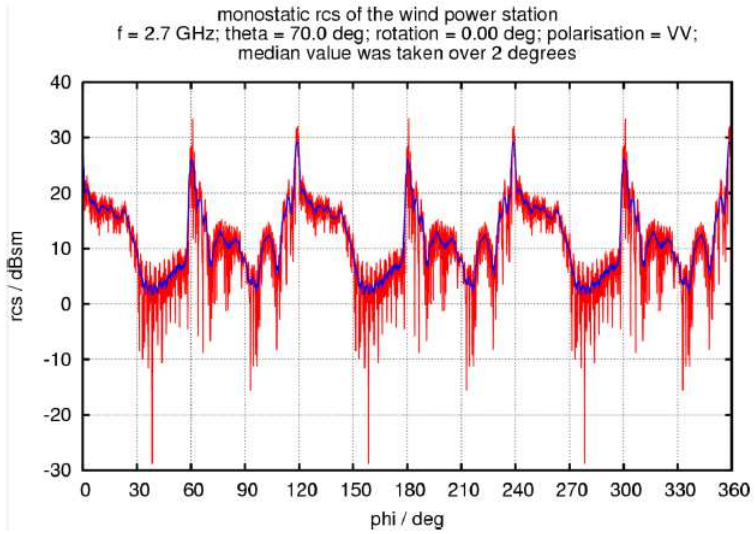


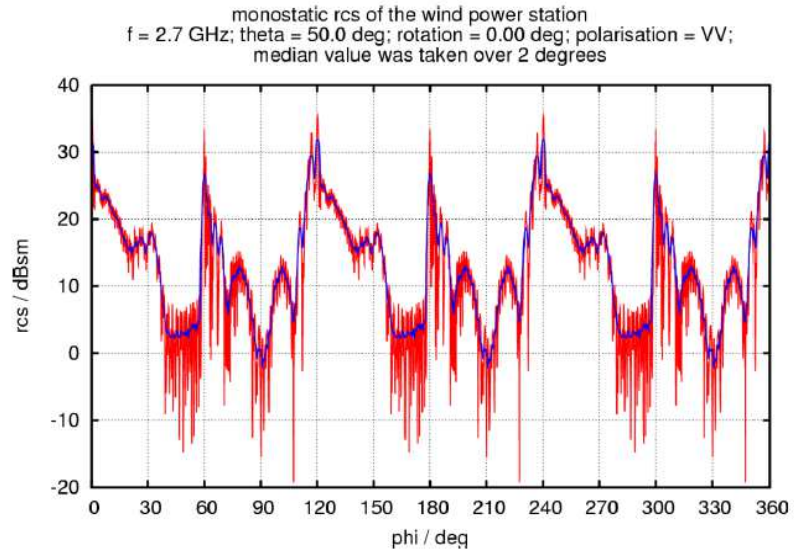
Uit beide studies blijken gelijkaardige waarden voor de RCS van grote windturbines, maar ook een grote afhankelijkheid van de juiste stand van de rotor, zodat dus met een erg tijdsafhankelijke variërende waarde van de RCS dient rekening gehouden te worden.

Het Swerling 1 model mag hierbij toegepast worden.

Een studie van Cassidian [Frye et al., 2008] toont ook de variaties van de RCS waarden voor verschillende oriëntaties van de rotor, waaruit eenzelfde grootte-orde van RCS blijkt.







6. Vraagstelling bij een inplanting “Stukwerkers”, Kluizendok haven Gent

In onderhavig dossier dient een en ander in het perspectief gesteld van een praktische realisatie van een project, met inplanting van een windturbine “Stukwerkers”, aan het Kluizendok Gent. Zoals uit de vorige figuren blijkt, ligt dit project middenin en achter een groot gebied met veel windturbines aan de dokken van de Gentse haven.

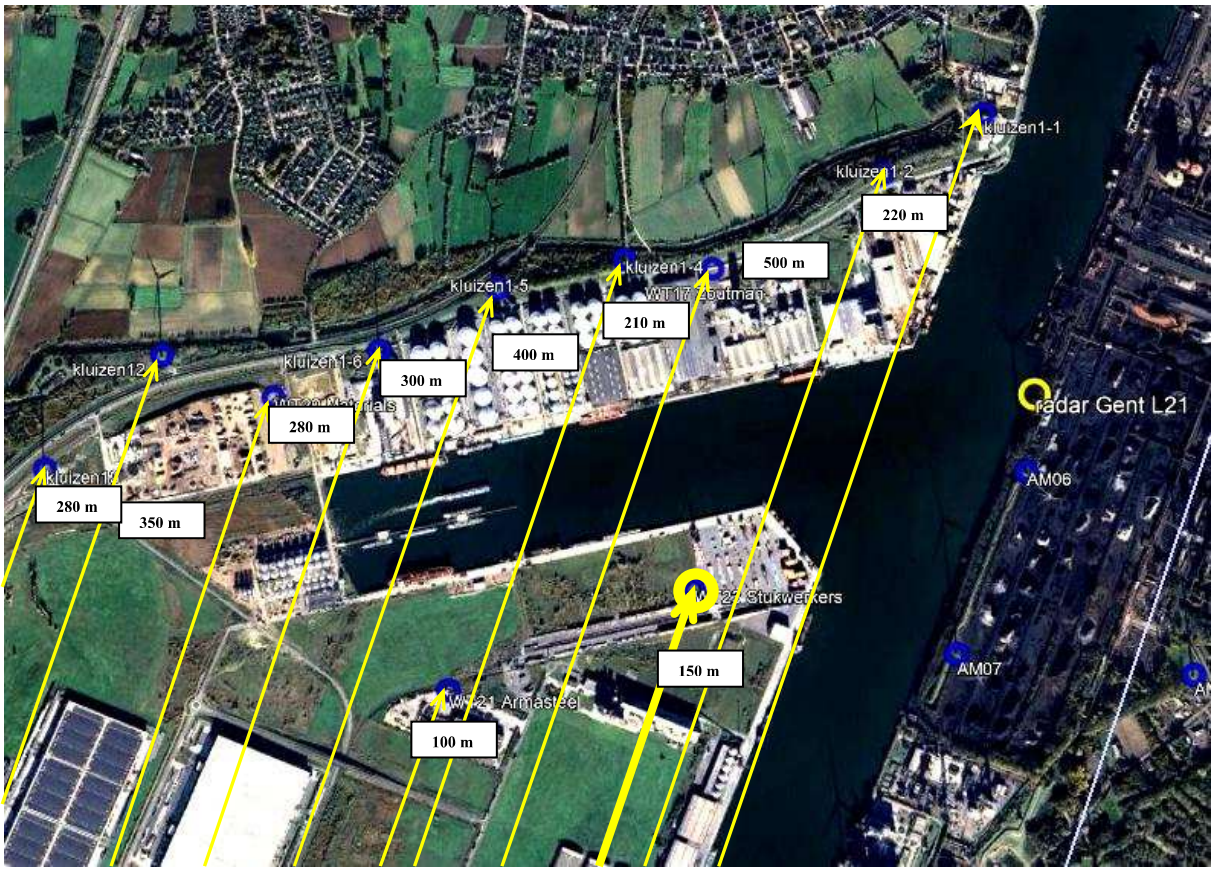
6.1. Line of Sight (LoS)

Eerst en vooral wordt een overzicht gegeven van de “Line of Sight” van dit project. Hieronder wordt de LoS aangegeven tussen de radarinstallatie in Semmerzake en de dokken van het havengebied Gent.



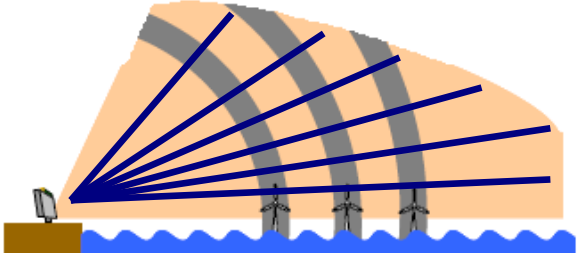
De nieuw-geplande windturbine ligt duidelijk midden in en achter een aantal windturbimeparken. Het is duidelijk dat er een clustering in azimuth voor het gehele havengebied gebied dient in aanmerking genomen te worden, en dat bijgevolg de hoogte van de turbines dominant zal zijn.

Alhoewel de radarinstallatie van Semmerzake te midden van een aantal woonkernen ligt, zal de LoS hierdoor nagenoeg niet beïnvloed worden in de richting van het huidige projectgebied. Mocht er toch enige invloed zijn door een woonkern op kortere afstand, dan zal dat enkel de laagste bundel van deze 3D-radar betreffen.



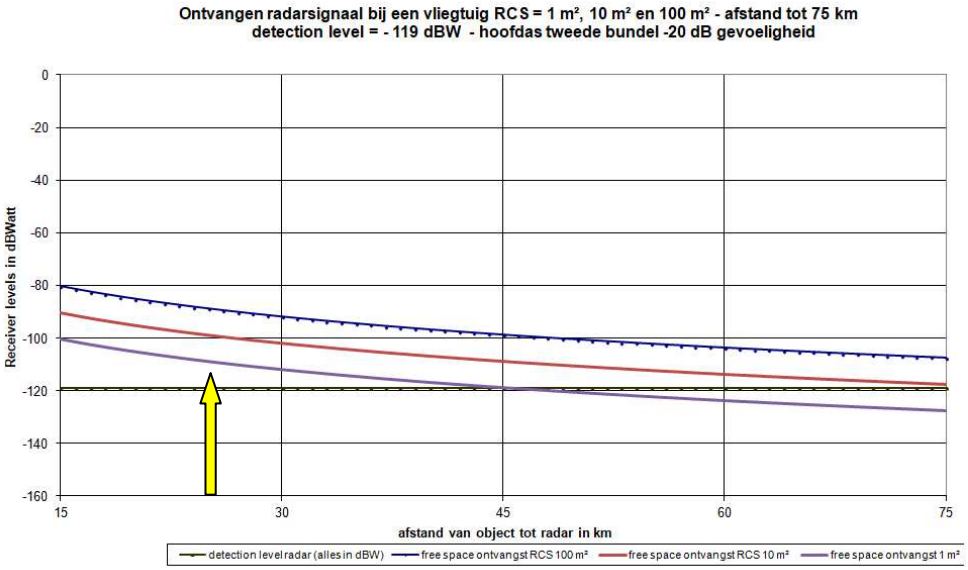
Uit de (rudimentaire) gegevens van de radar kan afgeleid worden dat in verticale richting het stralingspatroon relatief egaal is (cosecant squared), zodat zelfs relatief kleine obstakels met een geringe hoogte nog steeds met het volle beschikbare vermogen zullen bestraald worden.
Bij ontvangst van het gereflecteerde signaal worden de signalen van de verschillende elementen van de array afzonderlijk en aangepast verwerkt, zodat er “virtueel” 8 bundels in verticale richting ontstaan. De laagste bundel heeft daarbij een elevatiehoek van 1°. Op een afstand van 15 km zal deze laagste bundel gecentreerd zijn op een hoogte van 260 meter, op 25,4 km is dat zowat 440 meter.
Dit betekent dat voor deze laagste radarbundel, voor obstakels met zelfs een geringe hoogte, de volledige ontvangstgevoeligheid toch dient in aanmerking genomen te worden.

De tweede bundel heeft een elevatiehoek van 2.5°, wat overeenkomt met een hoogte van 650 meter op 15 km afstand, 1125 meter op 25,4 km. Men mag aannemen dat op grondniveau de ontvangstgevoeligheid met 10 à 20 dB gedaald zal zijn. Dit betekent in de praktijk dat voor deze tweede bundel, bij obstakels met kleinere hoogte, een gereduceerde gevoeligheid mag in aanmerking genomen worden om de signaalsterkte bij ontvangst te evalueren.

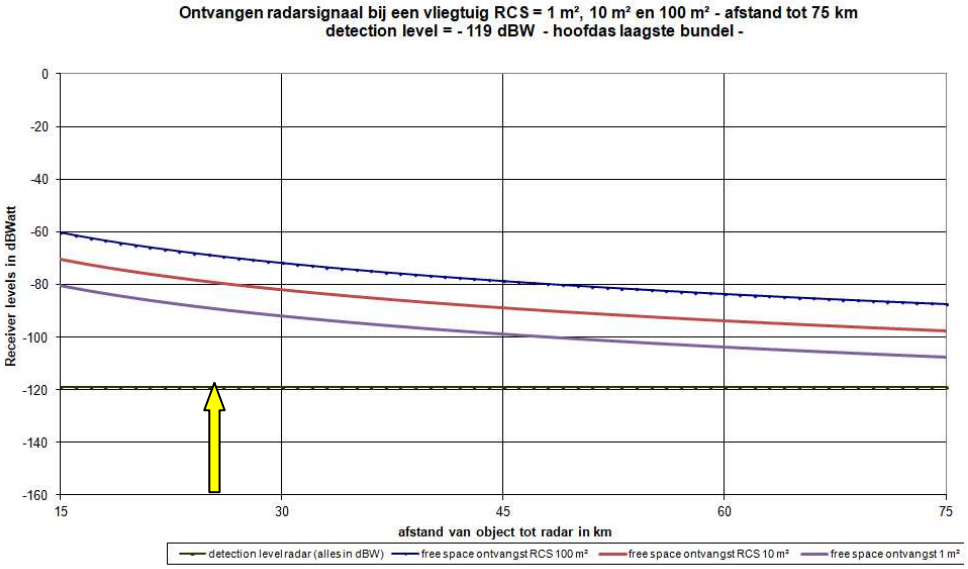


Bovenstaande figuur toont schematisch de elevatie van de verschillende bundels van het receiver-systeem, waarbij dus voor de hogere bundels de gereflecteerde signalen van lagere objecten zullen “uitgefilterd” worden.

Op de volgende grafiek is een voorbeeld gegeven van het ontvangen radarsignaal bij een voorwerp op 25,4 km afstand, waarvan de "actieve" RCS toch nog op 100 m^2 kan geraamd worden. En waarbij ondersteld wordt dat op lagere hoogte een verminderde ontvangst-gevoeligheid van – 20 dB mag in aanmerking genomen worden.



De volgende grafiek toont, ter vergelijking, het ontvangen signaal van de (tweede) hoofdbundel voor een object met een RCS = 1 m², 10 m² en 100 m².
Ook dient opgemerkt te worden dat voor een correcte inschatting rekening gehouden moet worden met de frequentie-afhankelijke eigenschappen van de RCS waarden tegenover de voorbeelden uit vorige paragraaf (zie verder).



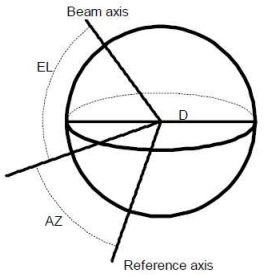
Hieruit blijkt dat een object met een RCS = 1 m² precies gemaskeerd zal worden door de windturbine, ter hoogte van de windturbine, voor wat de tweede radarbundel betreft. Objecten met een grotere RCS zullen nog steeds voldoende gedetecteerd worden.
Er kan dus aangenomen worden dat voor deze analyse er enkel dient rekening gehouden met een mogelijke impact op de laagste bundel door relatief lage obstakels op de radarkwaliteit.

In eerste instantie kan voor deze studie aangenomen worden dat de LoS tussen radar en projectzone vrij open is, zodat in een worst-case onderstelling dient aangenomen te worden dat de laagste radarbundel nagenoeg niet-verstoord de projectzone zal waarnemen.
Gegeven de beschikbare antenne karakteristieken, dient ook aangenomen te worden dat deze lagere objecten nagenoeg met volle vermogen zullen bestraald worden.
Bij ontvangst mag rekening gehouden met een vermindering van gevoeligheid van – 3dB op grondniveau, en eenzelfde eigenschap rond 750 meter hoogte.
Daarom wordt in deze studie ervan uitgegaan dat de windturbines met het volledige vermogen volledig zullen bestraald worden, en met de volledige gevoeligheid waargenomen worden. Wat dus eveneens als een worst-case mag beschouwd worden.

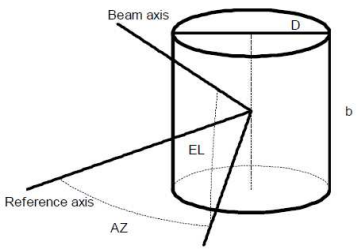
Dit houdt dus ook in dat objecten met een kleinere RCS dan de windturbines in de post-signal processing cel van de windturbine zullen gemaskeerd worden, wanneer deze zich tot op een hoogte tot rond 1000 meter bevinden. Tenzij aangepaste mitigatie kan gebruikt worden.

Moderne radarinstallaties hebben een gesofisticeerde post-signal processing, waarbij een radarbeeld in een aantal cellen wordt ingedeeld, en waarbij de celgrootte gekoppeld is aan de theoretische nauwkeurigheid en resolutie van de afstandsbepaling.
Bij een pulsduur van 1 µs wordt de minimale afmeting van een cel dan 300 m.
Binnen een dergelijke cel is het object met de grootste RCS dus dominant en zal kleinere objecten dus steeds maskeren.

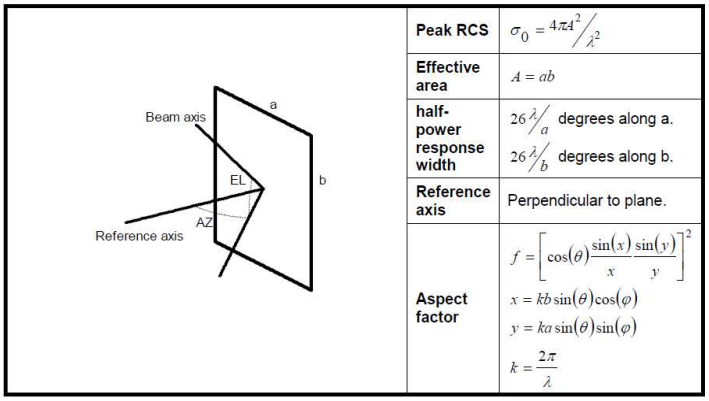
Voor cylindervormige objecten is dit een lineair verband, voor vlakke voorwerpen is dit een kwadratisch verband. Bij sferische objecten blijft de RCS constant.
Bovenstaande RCS waarden zijn dus een raming, uitgaande van de beschikbare RCS gegevens van windturbines in de S band.



Peak RCS	$\sigma_0 = 4\pi A^2 / \lambda^2$
Effective area	$A = D\lambda / 4$
half-power response width	N/A
Reference axis	N/A
Aspect factor	$f = 1$ RCS is independent of aspect and wavelength.



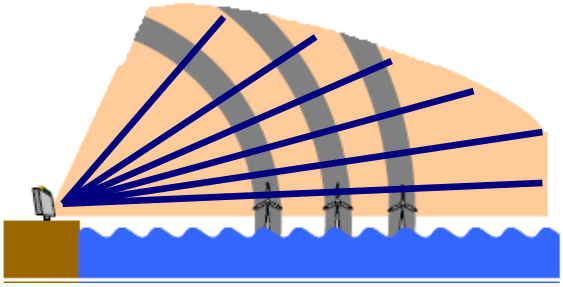
Peak RCS	$\sigma_0 = 4\pi A^2 / \lambda^2$
Effective area	$A = \sqrt{\lambda D b^2 / 4}$
half-power response width	$26\lambda / b$ degrees along b.
Reference axis	Perpendicular to cylinder axis.
Aspect factor	$f = \left[\cos(EL)\frac{\sin(x)}{x}\right]^2$ $x = kb\sin(EL)$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$



Peak RCS	$\sigma_0 = 4\pi A^2 / \lambda^2$
Effective area	$A = ab$
half-power response width	$26\lambda/a$ degrees along a. $26\lambda/b$ degrees along b.
Reference axis	Perpendicular to plane.
Aspect factor	$f = \left[\cos(\theta)\frac{\sin(x)}{x}\frac{\sin(y)}{y}\right]^2$ $x = kb\sin(\theta)\cos(\varphi)$ $y = ka\sin(\theta)\sin(\varphi)$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Het effect van maskering van kleinere objecten door grotere (in casu hier door de windturbines) wordt ook 'raised treshold' of 'pseudo shadowing' genoemd, en doet zich in dit geval dus zonder meer voor, gegeven de inplanting van de radarinstallatie in Semmerzake met betrekking tot de laagste bundel, en gedeeltelijk voor de tweede bundel.

Zoals hoger reeds aangehaald zullen de hogere bundels niet meer "verstoord" worden door objecten met een beperkte hoogte in de directe omgeving of verdere omgeving.



6.2. Clutter en CFAR

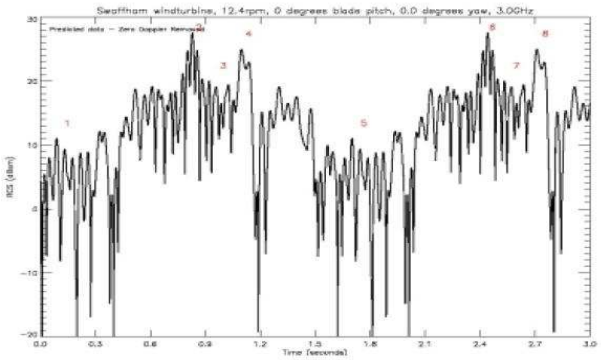
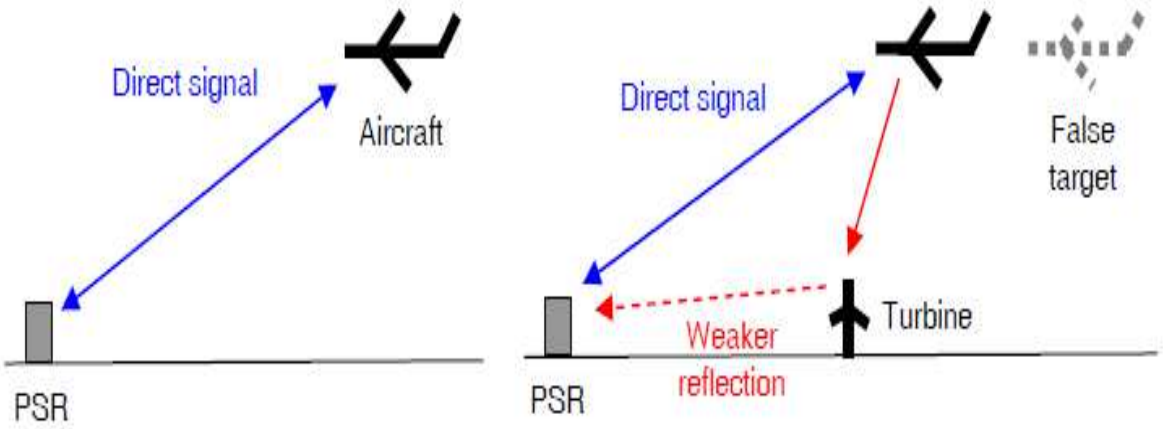


Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

De vraag dient nu verder gesteld of een wisselende "raised treshold" ten gevolge van een veranderende RCS waarde van de windturbine in functie van de pitch, de yaw en de stand van de rotorbladen (zie veranderende RCS in functie van de tijd), aanleiding zal of kan geven tot een "false tracking" of enkel "clutter".
Moderne radarinstallaties hebben een gesofisticeerde post-signal processing, waarbij een radarbeeld niet alleen in cellen wordt ingedeeld, maar waarbij aan elke cel afzonderlijke verwerkingsparameters kunnen worden toegekend. Typische verwerkingsalgorithmes omvatten niet alleen een CFAR-processing (al dan niet GOCA of SOCA), maar genereren of verliezen een 'track' pas na een aantal hits en/of omwentelingen van de radar. Voor meer details wordt verwezen naar §7.1, §7.3 en §7.7 en annex 2 en 3.

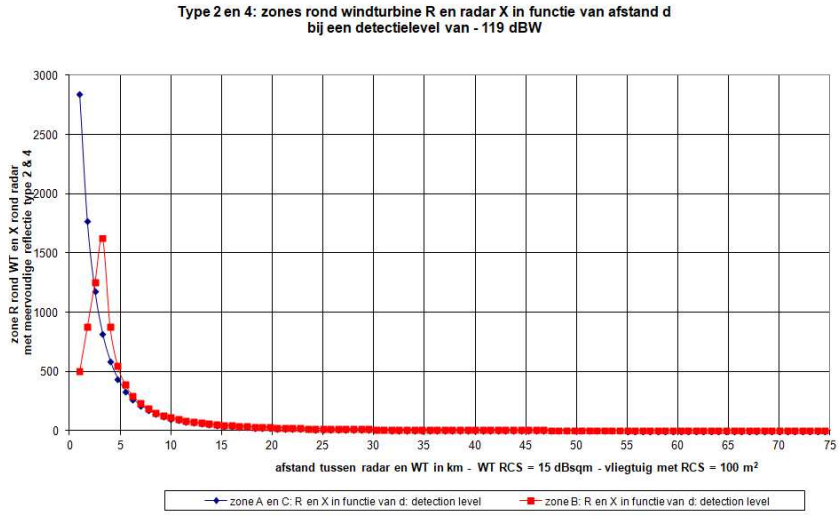
6.3. Meervoudige reflecties of "valse echo's"

Een volgende vraag betreft het mogelijke optreden van meervoudige reflecties of zogenaamde valse echo's. Zoals in de volgende figuur schematisch aangegeven, ontstaan deze valse echo's door een **bistatische** reflectie van het vliegtuig naar een windturbine (figuur), dan wel omgekeerd. In beide gevallen ontstaat er een tweede (valse) echo, die een "spookbeeld" zal genereren en de indruk geven dat een tweede vliegtuig in de buurt waargenomen wordt.

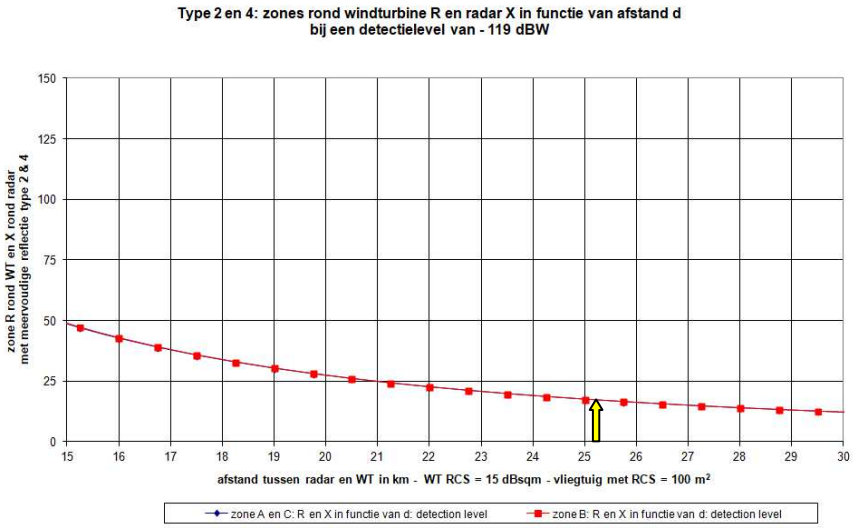


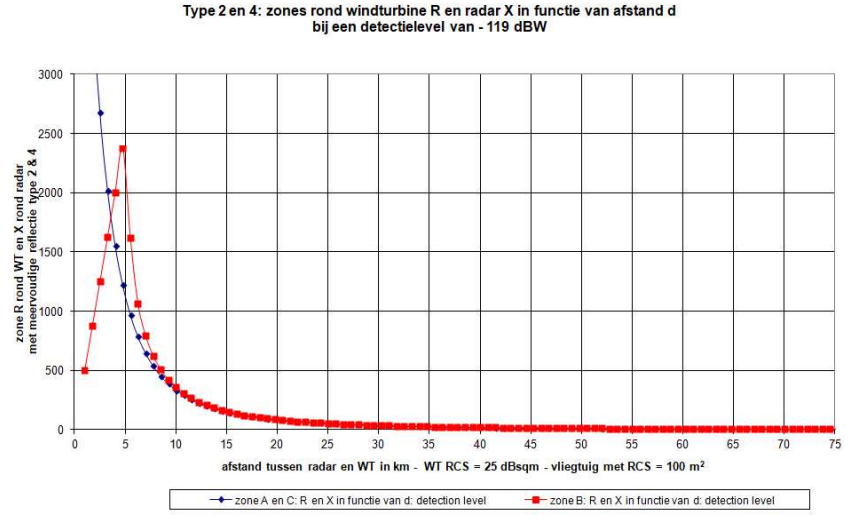
Hierbij dient opgemerkt te worden dat een radar met meerdere bundels naar elevatiehoeken, toch met dit verschijnsel kan geconfronteerd worden, via de (kleine) zijlobes van elke bundel.

In de volgende figuren worden de zones aangegeven waarbinnen deze effecten kunnen optreden (rond zowel de radarinstallatie zelf als de windturbine), in functie van de afstand tussen radarantenne en windturbine, en dat voor twee verschillende RCS waarden van de windturbine (15 dBsqm en 25 dBsqm), bij een typische RCS van 100 m^2 (20 dBsqm) voor een overvliegend vliegtuig. Het betreft telkens de situatie waarbij geen rekening gehouden wordt met een mogelijke vermindering van de gevoeligheid van de ontvanger door interactie van het CFAR algorithme.

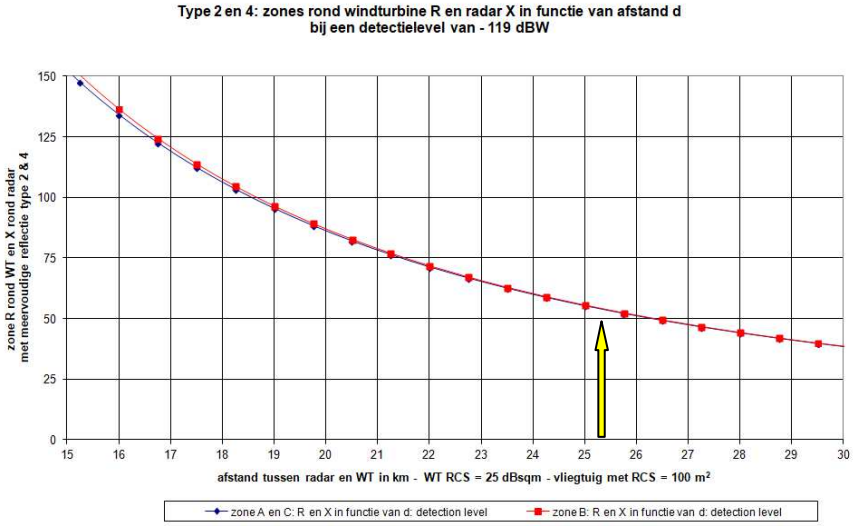


De volgende grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 30 km tussen radarinstallatie en object. Het is duidelijk dat op een voldoende verre afstand onder deze condities er geen effect van meervoudige reflecties zal optreden.

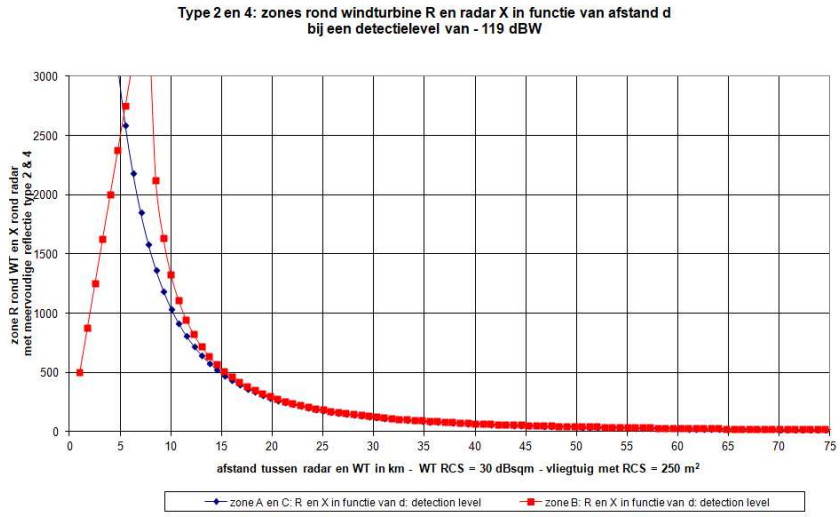




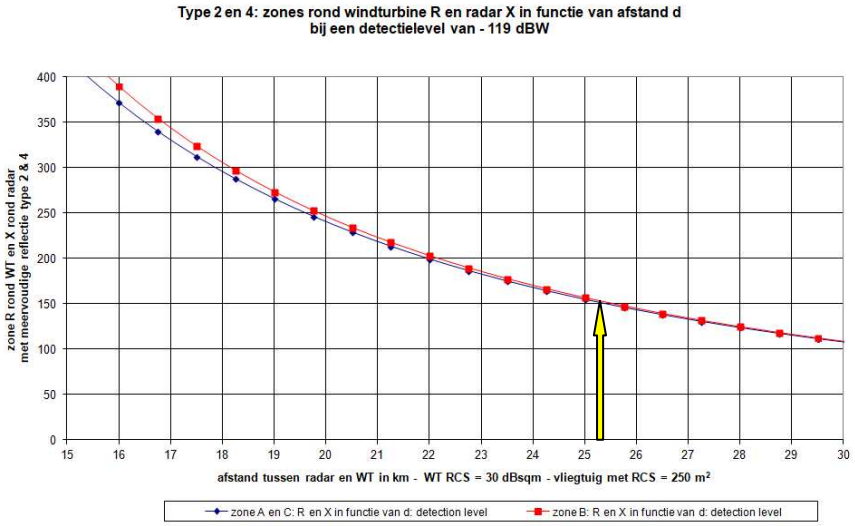
De volgende grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 30 km tussen radarinstallatie en windturbines. Het is duidelijk dat op een voldoende verre afstand onder deze condities er geen effect van meervoudige reflecties zal optreden.



De volgende grafieken tonen een worst case scenario met een RCS voor de windturbine van 30 dBsqm (1000 m²) en 25 dBsqm (250 m²) voor het overvliegende vliegtuig (of omgekeerd qua RCS waarden). Er dient nogmaals op gewezen te worden dat het bistatische RCS waarden betreft die dienen in aanmerking genomen te worden.



De onderstaande grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 30 km tussen radarinstallatie en windturbines.



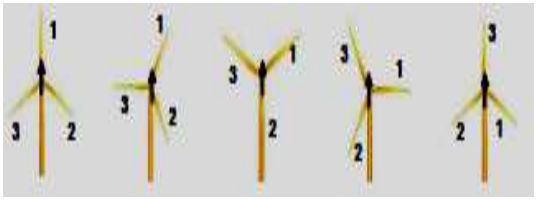
Gegeven normale vlieghoogtes in deze gebieden (woongebieden), stelt zich geen probleem, en vormt zelfs de worst case situatie in principe geen beperking voor de inplanting van windturbines op deze afstand tot de radarinstallatie.

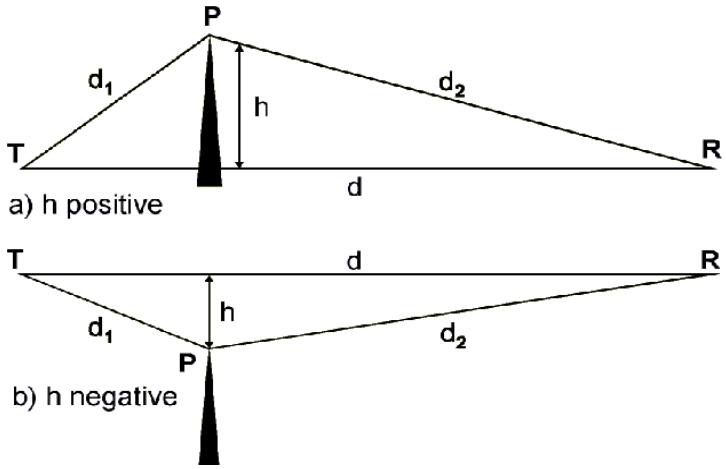
Op te merken is ook dat er, niettegenstaande de kleine afstanden tussen de radarassen, er geen meervoudige reflecties kunnen optreden tussen de verschillende windturbines van dit project, noch tussen andere windparken, gegeven de onderlinge afstanden tussen de windturbines.

6.4. Schaduwing en verminderd bereik.

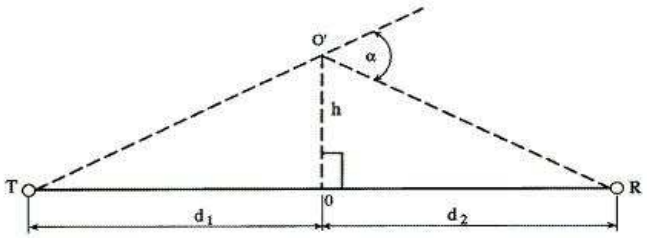
Bij een obstakel wordt door diffractie het bereik achter het voorwerp verminderd, of zelfs helemaal teniet gedaan (dode zone). Wanneer de Line of Sight (LoS) niet verstoord wordt door het obstakel (h negatief), dan blijft het volledige bereik gehandhaafd.

Wordt de LoS wel verstoord, dan zal afhankelijk van afstand en “effectieve hoogte h” en/of “effectieve breedte b”van het obstakel, een zekere attenuatie van het radarsignaal optreden (zowel voor het uitgezonden signaal, als voor de terugkerende reflectie).

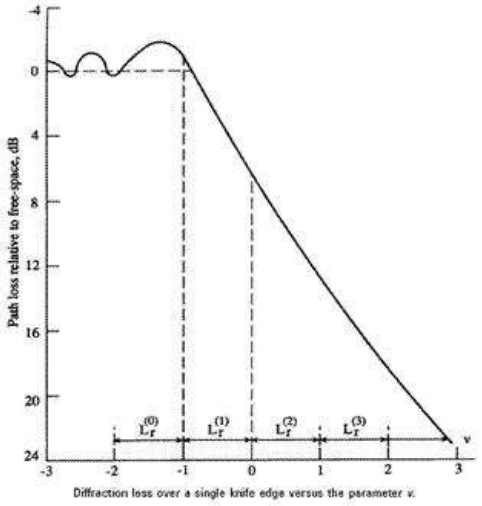




De onderstaande figuur geeft de bijkomende attenuatie van het radarsignaal in functie van een parameter “v”, die functie is van de afstanden d1 en d2, en van de “effectieve” hoogte “h”.



$$v = \pm h\sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$



Zoals eerder gesteld, zal hoofdzakelijk alleen de reikwijdte van de laagste bundel hierdoor effectief beïnvloed worden.

In dit rapport wordt de vermindering in reikwijdte in eerste instantie aangegeven voor de hoogte van de geplande windturbine als alleenstaand object, en verschillende vlieghoogtes, en ook een vergelijking gemaakt met de bestaande shadowing door de reeds aanwezige windturbineparken in de havenzone.

Het model voor deze simulatie is het “knife-edge” model van Fresnel.

7. Simple assessment PSR volgens § 4.3. van EUROCONTROL-GUID-0130

In deze sectie wordt ingegaan op de verschillende effecten en fenomenen, met als referentie § 4.3. van het EUROCONTROL-GUID0130 document *"**Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors**"*, rekening houdend met de specifieke opmerkingen en gegevens voor de onderhavige situatie, zoals in §6. van deze studie reeds besproken.
Onderstaande studie houdt dan ook alleen maar rekening met mogelijke effecten voor de laagste radarbundel.

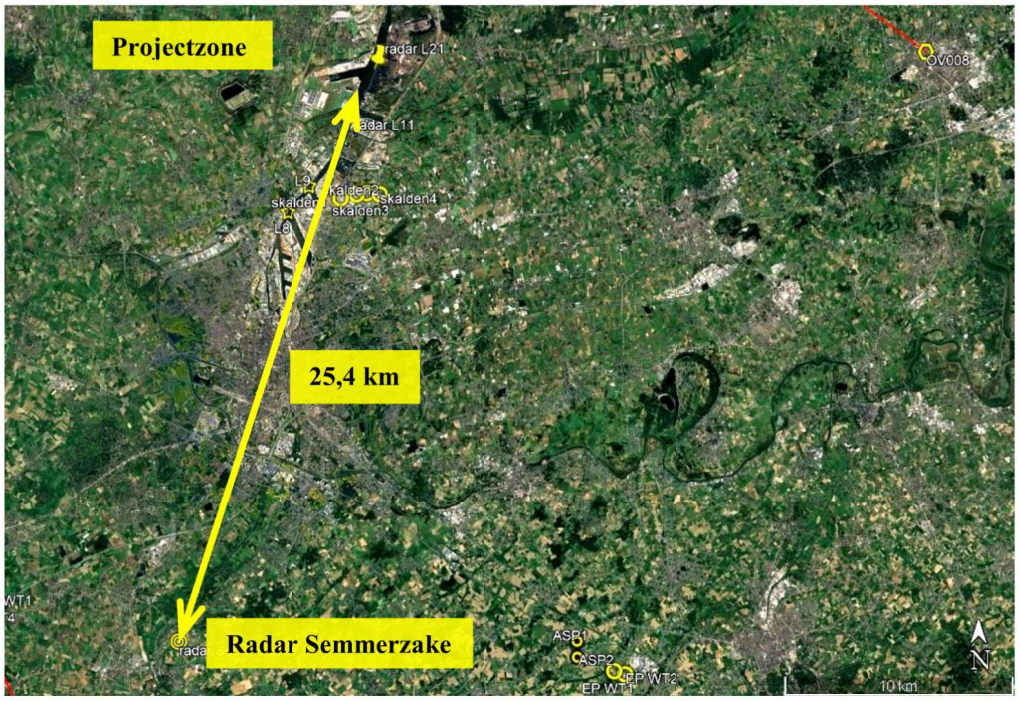
7.1. Generalities

In eerste instantie dient nagegaan of de geplande windturbine in de Line of Sight (LoS) van de radar ligt, en dus detecteerbaar is. En ook of er een clustering met de bestaande windturbineparken optreedt, dan wel een voldoende vrije propagatie of doorgang van de radarsignalen doorheen het geheel zal voorhanden zijn (Fresnel voorwaarden voor vrije doorgang of Fresnel ellips).

De volgende figuur schetst nog eens de ligging van zowel de radarinstallatie van Semmerzake als van het projectzone aan het Zeekanaal Gent-Terneuzen, en van het havengebied Gent.

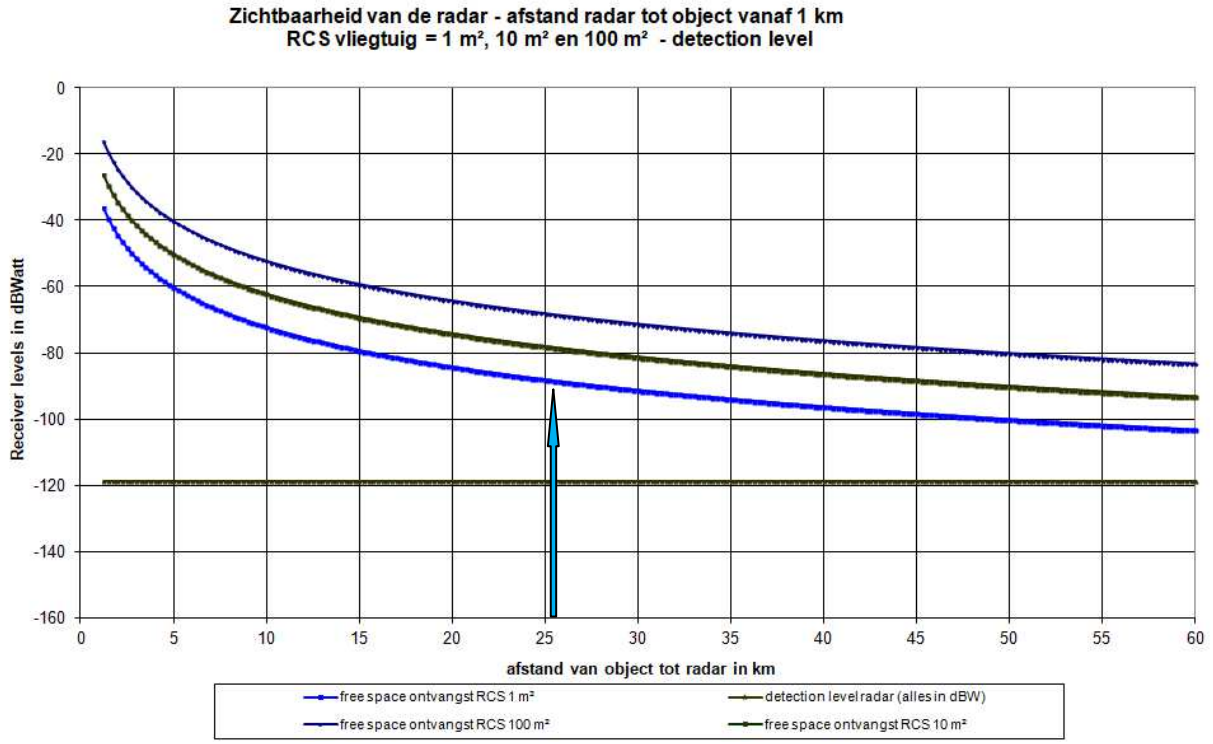
Uit verschillende studies die in de literatuur beschikbaar zijn (zie §2.5.2) kunnen de volgende statistische gegevens voor de RCS waarden van windturbines afgeleid worden:

Monostatische RCS windturbine		Bistatische RCS windturbine	
< - 10 dBsqm	< 1%	< - 10 dBsqm	< 2%
tot 0 dBsqm	10 %	tot 0 dBsqm	30 %
tot 10 dBsqm	30 %	tot 10 dBsqm	80 %
tot 20 dBsqm	95 %	tot 20 dBsqm	98 %
> 20 dBsqm	100 %	> 20 dBsqm	100 %



De monostatische RCS waarde is van belang voor de directe waarneming van een object door de radarinstallatie. De bistatische RCS speelt een rol bij het genereren van valse echo's door meervoudige reflecties.
De bovenstaande cumulatieve waarschijnlijkheden van optreden, komen telkens voor tijdens 1/3 van een omwenteling van de rotor (bij een rotor met drie wieken), en kunnen derhalve ook als een globaal gemiddelde aanzien worden.

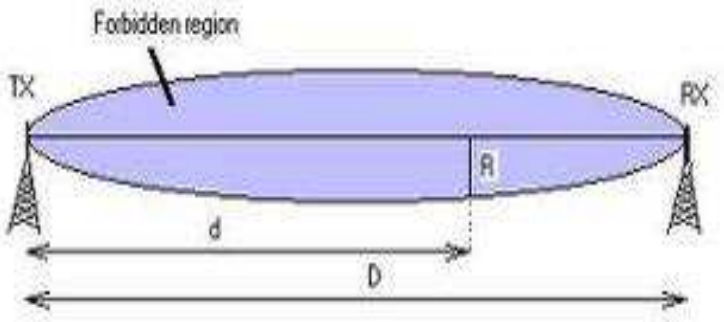
Uit de volgende grafiek blijkt dat objecten op 26,9 km afstand en meer, nog steeds zichtbaar zijn, onder voorwaarde dat geen andere grote storende factoren of demping op het terrein optreden.
Dit houdt dus ook in dat vliegtuigen met een RCS waarde kleiner dan of gelijk aan de RCS waarde van het object, gemaskeerd zullen zijn en dus niet waargenomen kunnen worden bij doortocht van dezelfde waarnemingscel ("resolution cell") waar het object zich bevindt.
Op zich stelt dit echter geen probleem voor de globale waarneming van een overvliegend vliegtuig, en is dit gelijkaardig met een maskering door andere, grote objecten (zoals bvb. een hoogspanningsmast).



Verder dient nagegaan te worden volgens §4.2.5. van het Eurocontrol document in welke mate er mogelijke cumulatieve effecten van bestaande windturbineparken dienen in aanmerking genomen te worden.

In vorige figuren werd reeds duidelijk aangegeven dat een clustering in azimuth optreedt tussen de reeds aanwezige/gegunde en geplande windturbines aan de dokken van de Gentse haven en in omgevende kanaalzone, en op die manier, rekening houdend met de rotordiameter, een zekere maskering van de windturbine "Stukwerkers" zou kunnen geven.

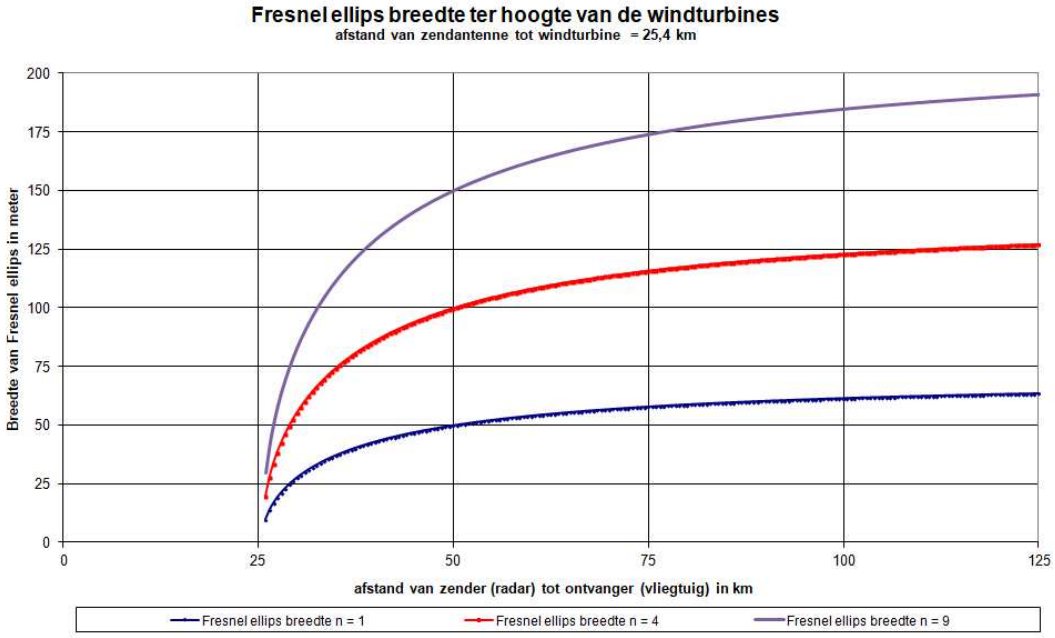
De clustering volgt zeer duidelijk uit de Fresnel voorwaarden voor vrije radiopropagatie.



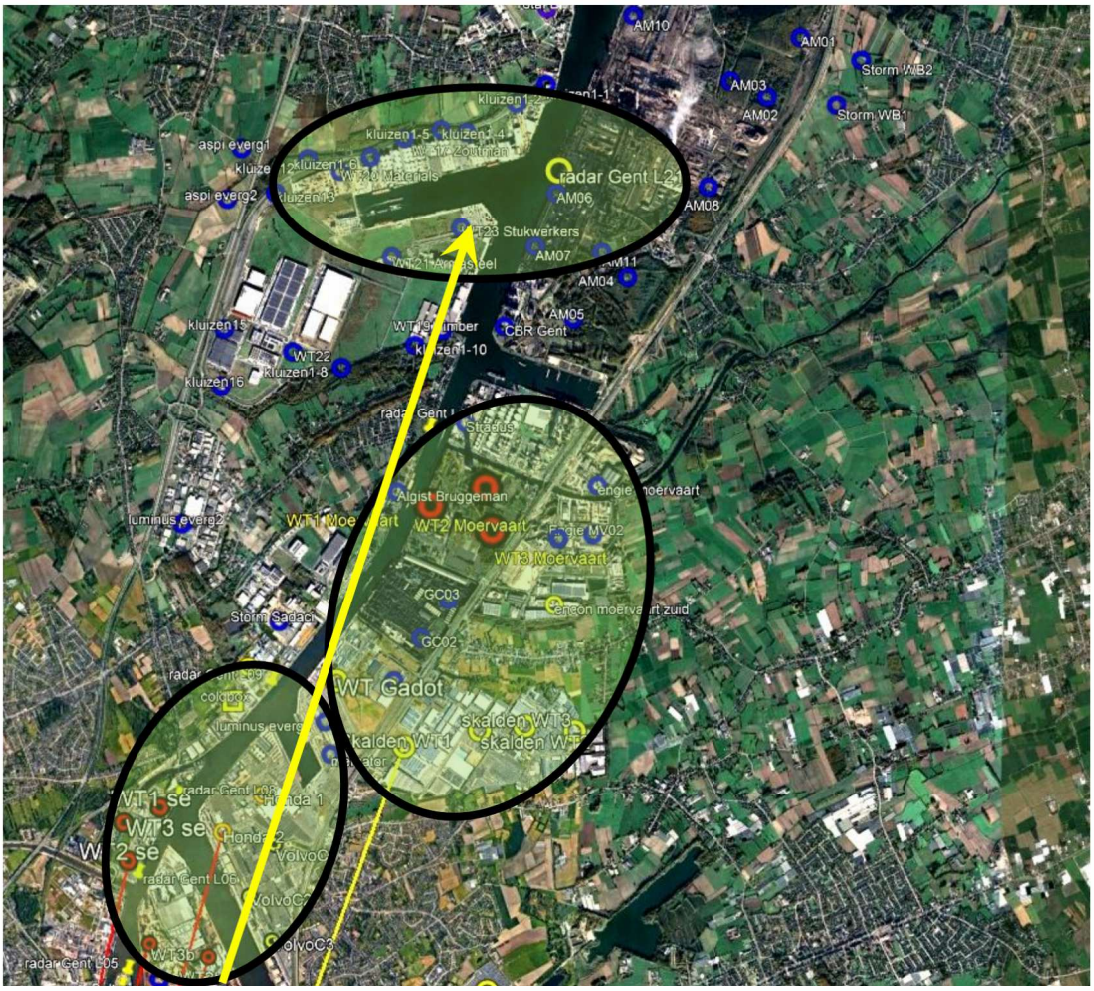
$$R^2 = (n * \lambda * d * (D-d))/(D)$$

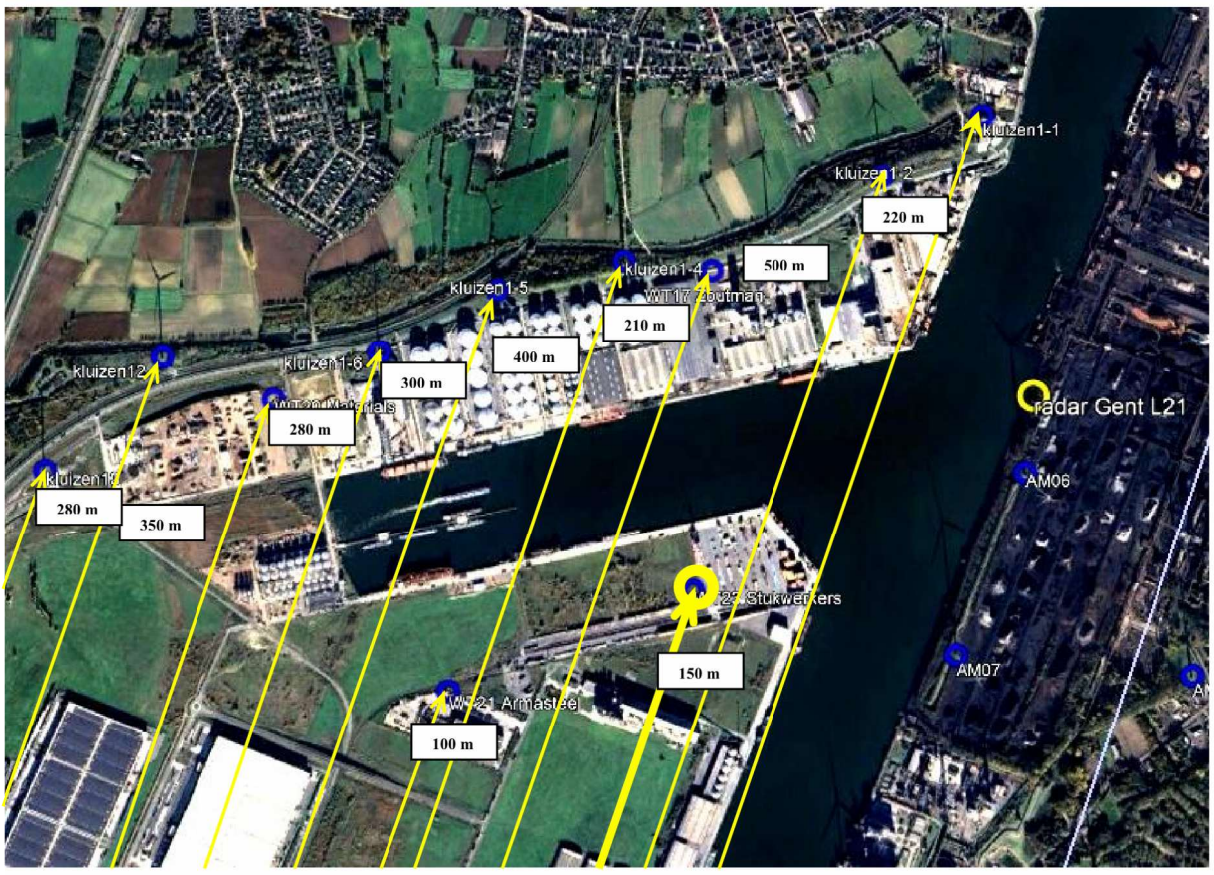
In de volgende grafiek wordt de Fresnel voorwaarde voor orde n = 1, n=4 en n=9 gegeven voor de gemiddelde afstand tussen objecten en radar van 25,4 km (dokken Gentse haven).

In onderhavige toepassing is in verband met veiligheid van waarnemingen n=9 van toepassing, en dient voor waarnemingen op grote afstand een vrije doorgang tussen twee radarassen van minimaal 380 meter aangehouden te worden in de omgeving van de nieuwe windturbine (2 x Fresnel straal), dan wel 190 meter wanneer een andere radarstraal er langs een alleenstaand object voorbijkomt. Bij een voldoende voorwaarde n=4 reduceren deze afstanden tot 250 m tussen windturbines, en 125 m bij een alleenstaand object.



Op de volgende figuren is duidelijk te zien dat er in het gehele havengebied een grote clustering in azimuth zal optreden voor het volledige havengebied van Gent. De vraag stelt zich in hoeverre de repowering/nieuwe windturbines aan het Kluizendok zichtbaar blijven. En ook of er een locale clustering optreedt voor de directe omgeving van dit project “Stukwerkers” aan het Kluizendok, zodat deze windturbine als voldoende/gedeeltelijk alleenstaand kan beschouwd worden, en de hoogte van de windturbine dominant zal zijn omtrent de mogelijke verminderde zichtbaarheid op de radaras-lijn.


AM10
AM01
Storm WB2
AM03
AM02
Storm WB1
kluizen1-5
kluizen1-4
aspi evergr1
kluizen1-6
WT17 Zoutman
WT20 Materials
aspi evergr2
kluizen13
radar Gent L21
AM06
AM08
WT23 Stukwerkers
AM07
WT21 Armastee
AM11
AM04
AM05
CBR Gent
kluizen15
WT22
kluizen1-10
kluizen1-8
kluizen16
radar Gent L06
Straeus
Algist Bruggeman
engie moervaart
luminus evergr2
WT1 Moervaart
WT2 Moervaart
Engie MV02
WT3 Moervaart
GC03
Storm Sadaci
engie moervaart zuid
GC02
WT Gadot
skalden WT3
skalden WT1
skalden WT2
WT1 se
WT3 se
WT2 se
Honda 1
Honda 2
VolvoC
radar Gent L05
VolvoC2
VolvoC3
WT3b


kluizen1-1
kluizen1-2
220 m
500 m
kluizen1-4
WT17 Zoutman
kluizen1-5
210 m
400 m
kluizen12
kluizen1-6
300 m
WT20 Materials
280 m
radar Gent L21
AM06
kluizen10
280 m
350 m
23 Stukwerkers
150 m
AM07
WT21 Armastee
100 m

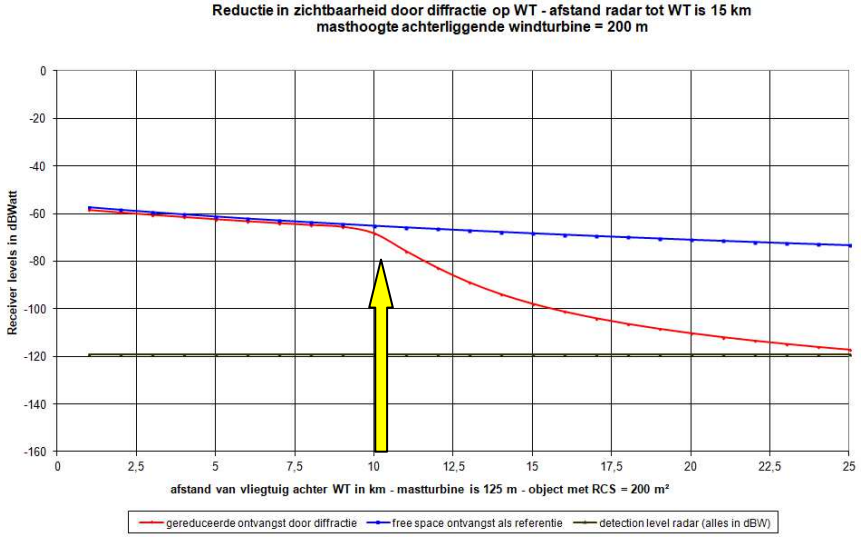
Er dient wel opgemerkt te worden dat deze voorwaarde ook gekoppeld afhankelijk is van de (tijdelijke) oriëntatie van de rotoren van de omliggende windturbines (gegeven de windrichting). Omdat er echter geen synchronisatie is tussen de rotorbeweging en de pulsherhaling van de radar, kan hiervoor de Swerling analyse toegepast worden binnen de Fresnel vereisten voor vaststaande objecten. Wel wordt uit voorzorg, rekening houdende met de voorliggende windparken in de volledige zone aan de dokken in de Gentse haven, dat de veminderde zichtbaarheid achter de windturbine hoofdzakelijk zal bepaald blijven door de hoogte van de mast en de tiphoogte.

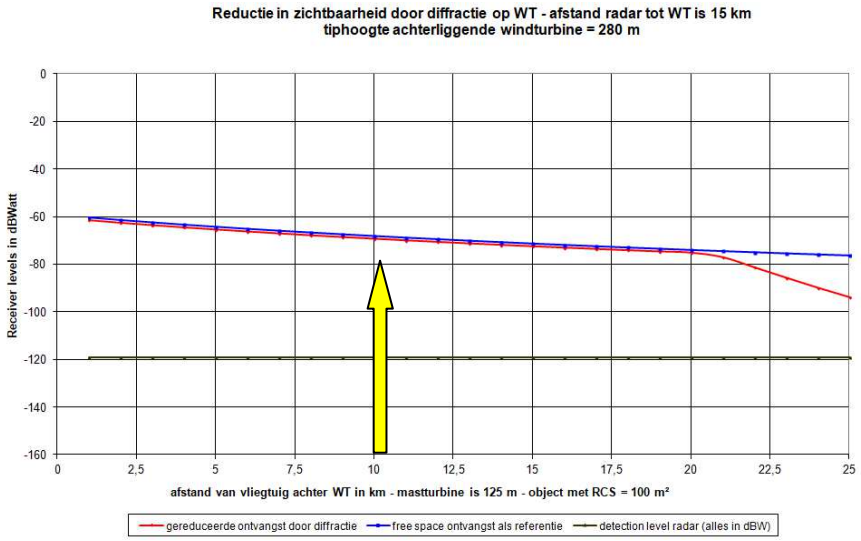
7.2. PSR shadowing

7.2.1. PSR shadowing door de zones “dokken” naar de site “Stukwerkers”.

In de volgende grafieken wordt een analyse gemaakt voor verschillende situaties aan de dokken van de Gentse haven, en meer specifiek in verband met de invloed van de windturbines in de directe omgeving van het Kluizendok.

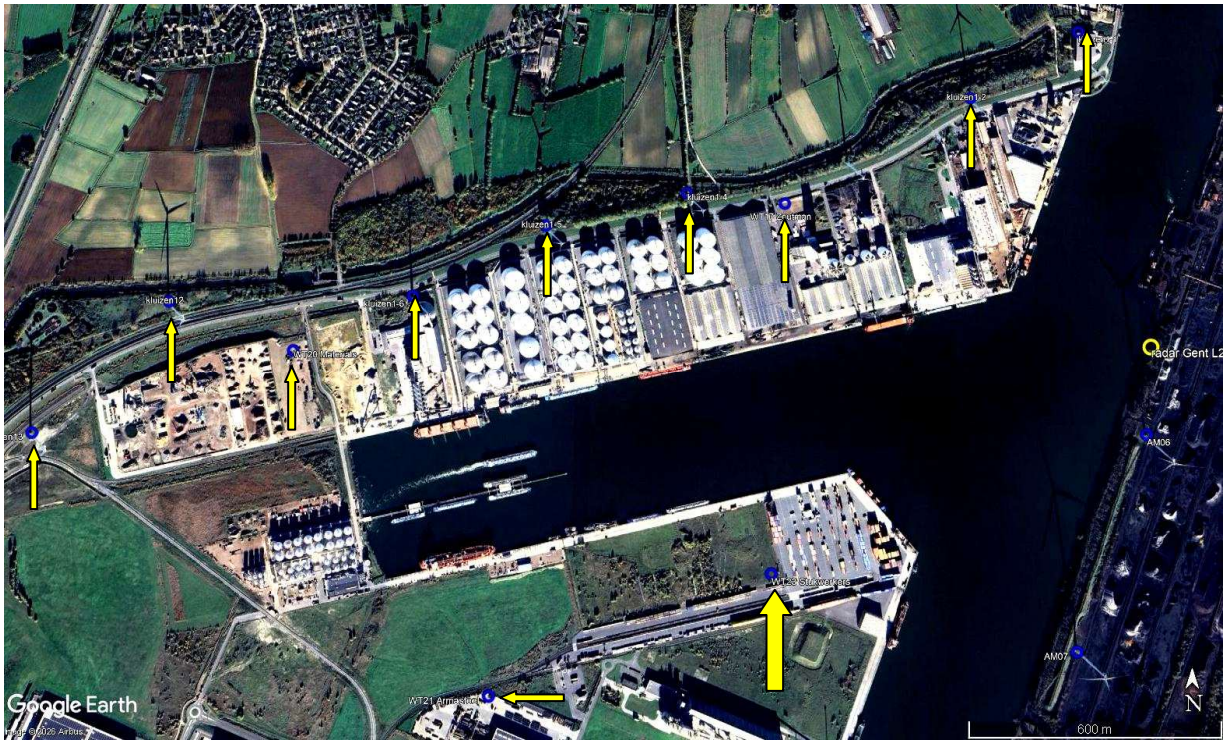
Hierbij wordt, als referentie, de situatie weergegeven voor een kleinere windturbine aan het begin van het havengebied (op een afstand van 15 km tot Semmerzake), met een masthoogte van 125 m, voor windturbines in planning/repowering met een masthoogte van 200 m en een tiphoogte van 280 m, waaruit blijkt dat deze nieuwere windturbines, verderop gelegen in het havengebied (tot 25 km verder), zichtbaar blijven, en ook dat (quasi) het volledig vermogen van het radarsignaal aan het Kluizendok beschikbaar blijft (*de pijl toont de ligging Stukwerkers*).





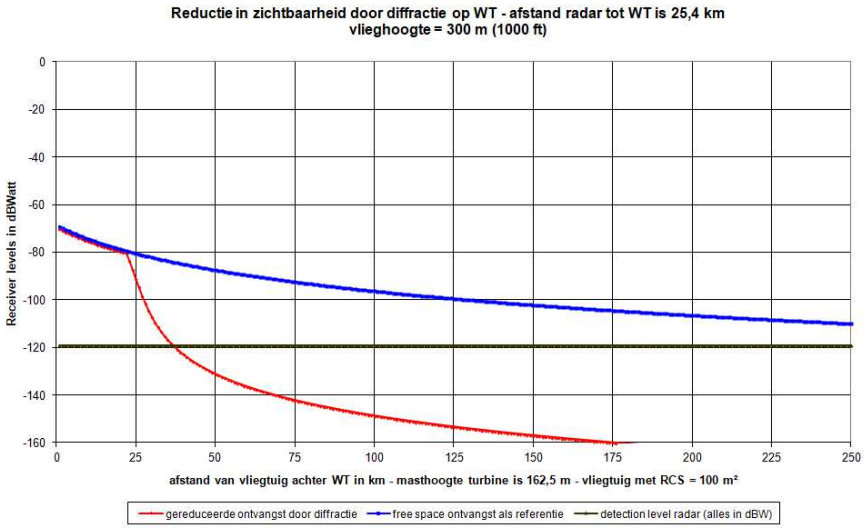
7.2.2. PSR shadowing door de windturbine “Stukwerkers”.

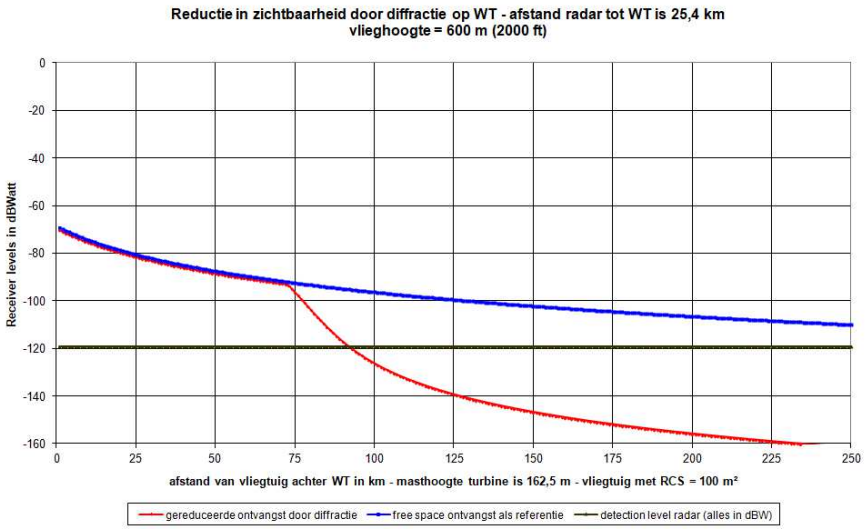
Uit het voorgaande (§7.1. en §7.2.1.)) blijkt de windturbine “Stukwerkers” voldoende zichtbaar is voor de radar van Semmerzake, zodat een verdere analyse dient gemaakt te worden omtrent de PSR shadowing door dit project.

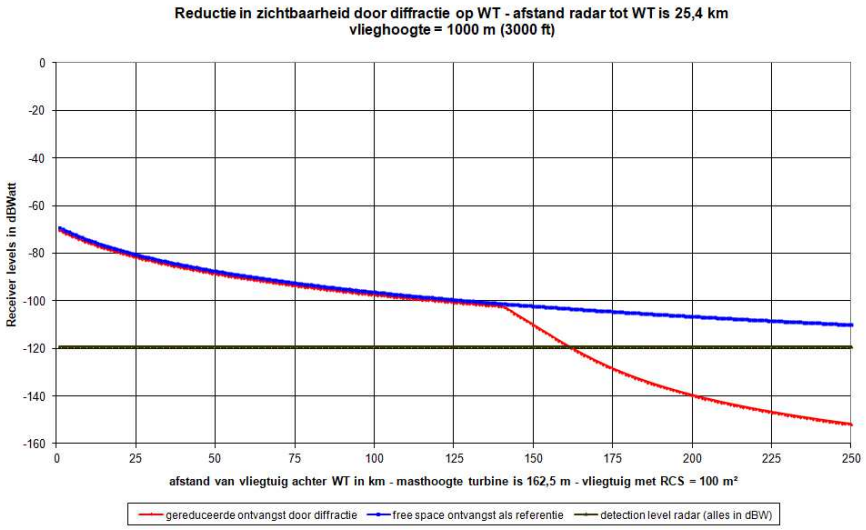


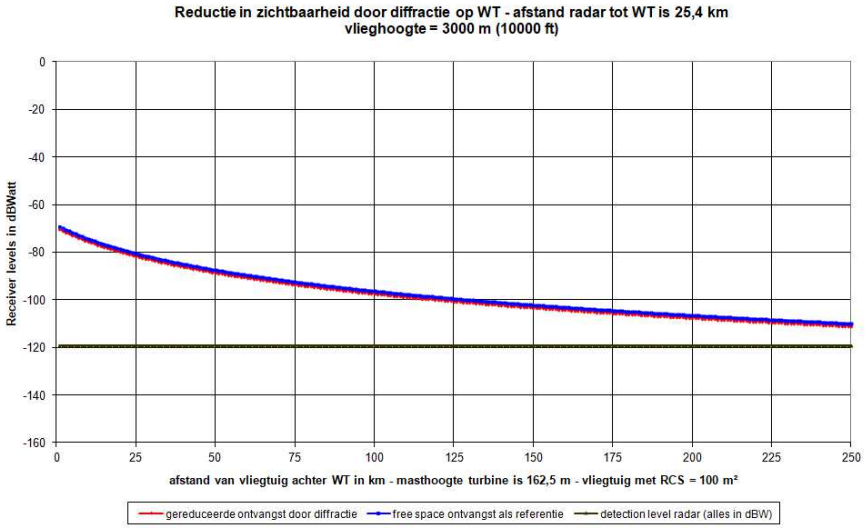
In de volgende figuren wordt de optredende shadowing (of vermindering van bereik) gegeven op de aslijn radar/windturbine ten gevolge van de masthoogte, bij verschillende vlieghoogtes.
De analyse wordt gemaakt bij een RCS voor het vliegtuig van 100 m², en bij vlieghoogtes van 300 m, 600 m, 1000 m en 3000 m.
Een meer uitgebreide analyse voor RCS-waarden van het vliegtuig en de Swerling PD% worden gegeven in de grafieken van annex 4.

De eerste reeks grafieken is voor de masthoogte van 162,5 m.

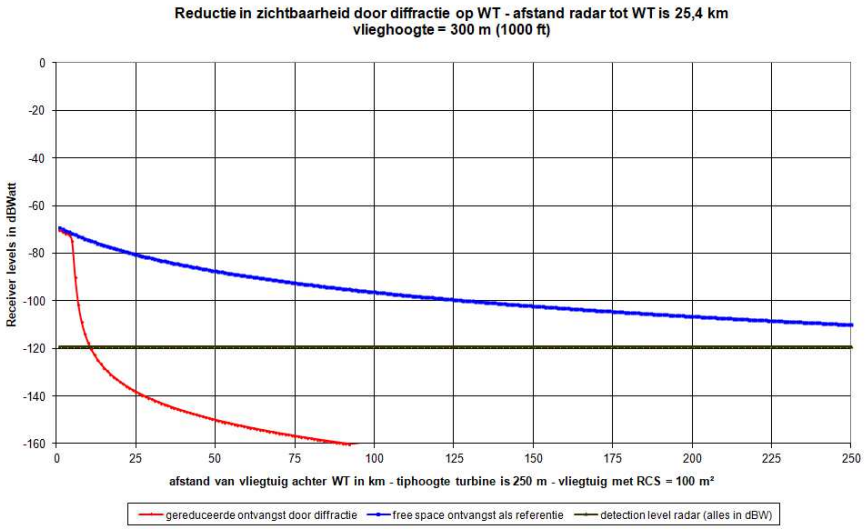


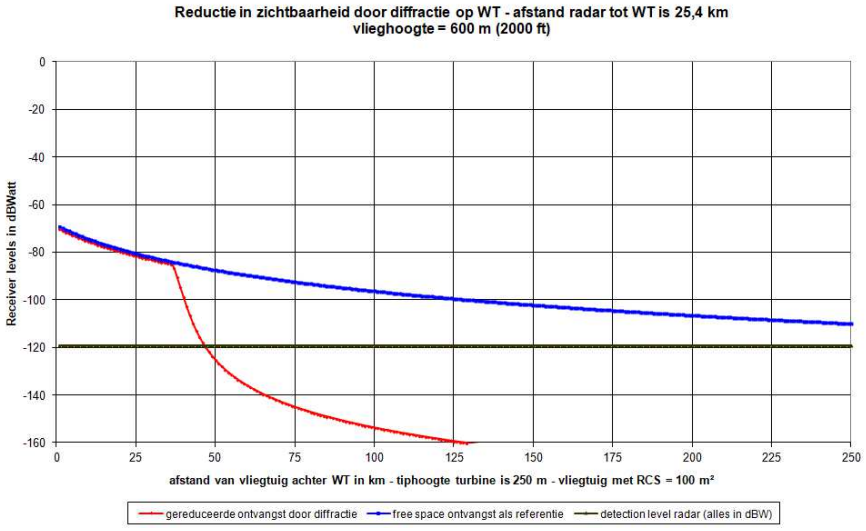


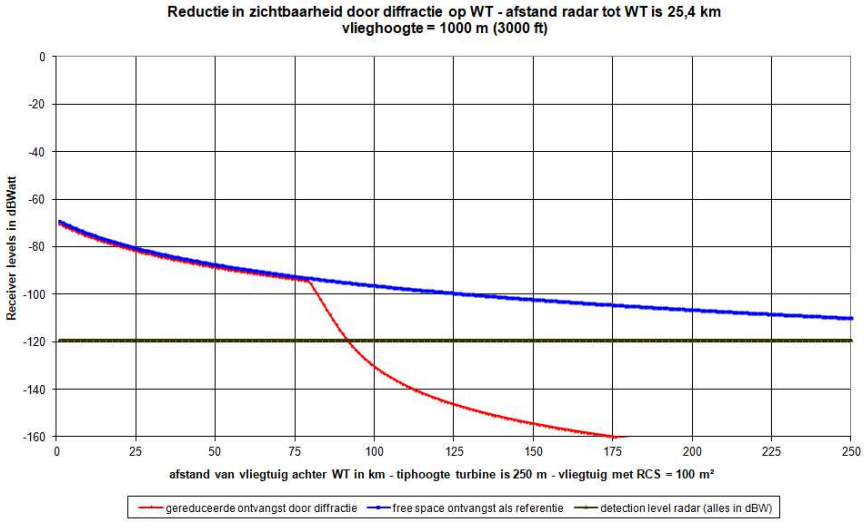


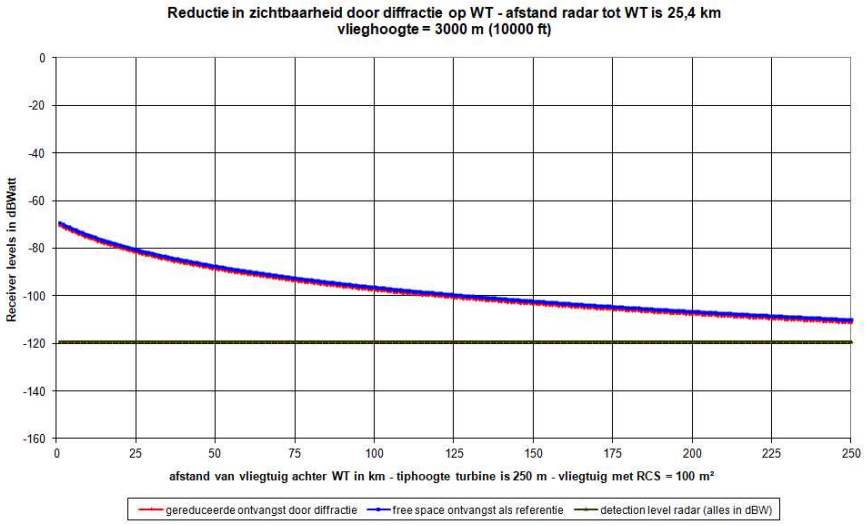


De volgende reeks grafieken toont de verminderde radarwaarneming op de radaras van Semmerzake en “Stukwerkers”, voor de tiphoogte van 250 m.


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 300 m (1000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

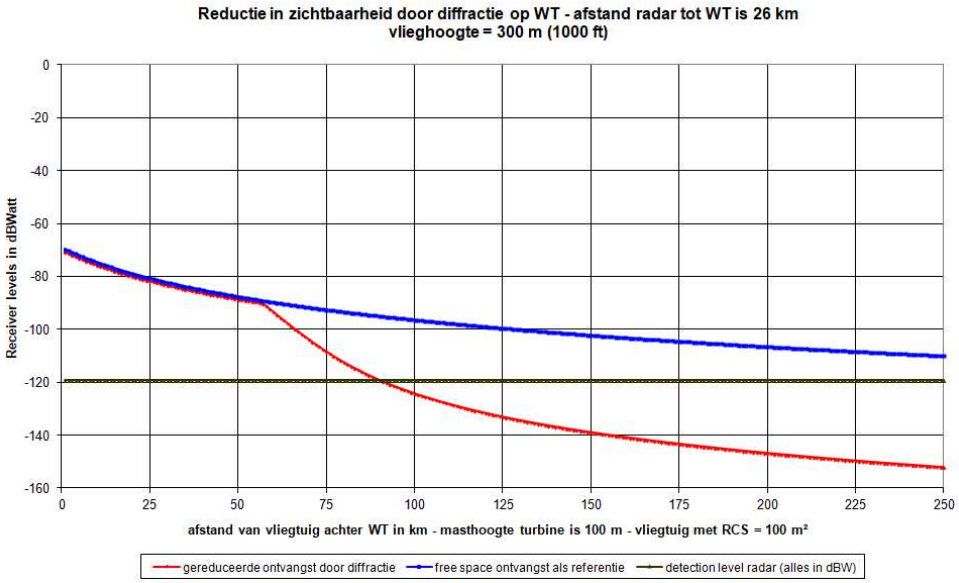

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

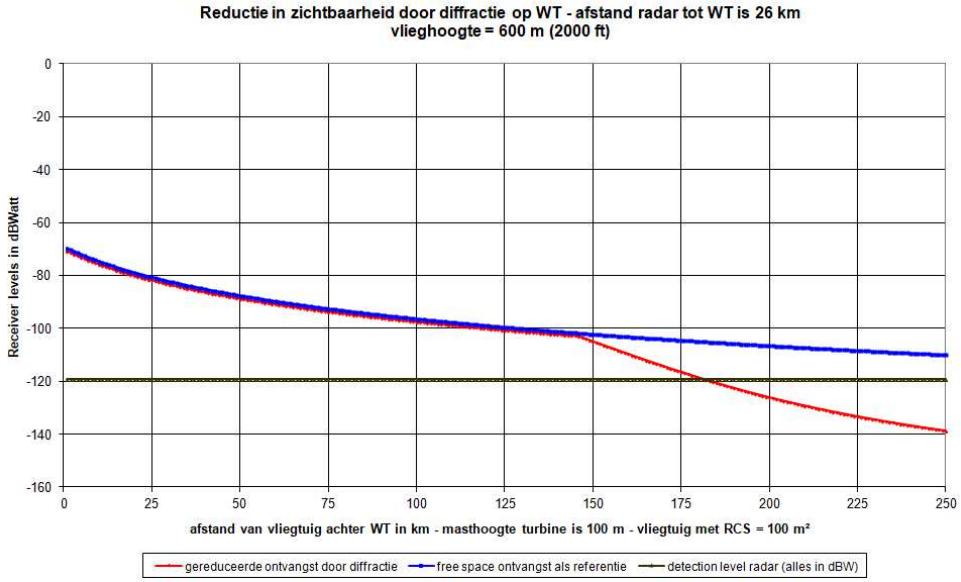


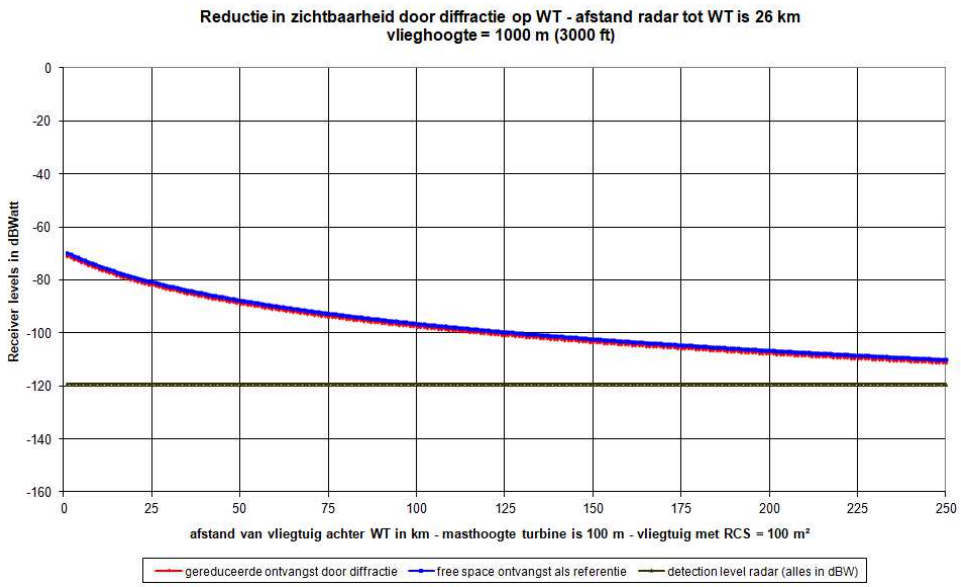
7.2.3. PSR shadowing door typische windturbines in de directe omgeving

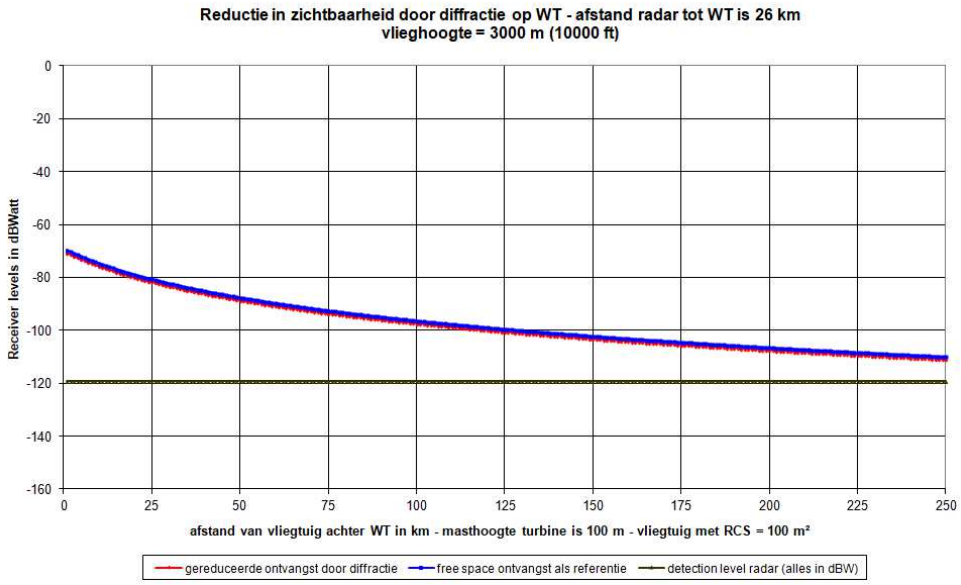
Uit de tabel in §2.2. kan besloten worden dat een aantal windturbines een masthoogte hebben van omtrent 100 m, en een tiphoogte tussen 133 m en 150 m. De nieuwe windturbines (nieuw project en/of repowering) hebben afmetingen vergelijkbaar met het project “Stukwerkers”.

De volgende grafieken gelden dan, als vergelijking met de huidige situatie, voor een typische windturbine in de directere omgeving aan het Kluizendok gelegen (gemiddelde afstand tot de radar is 26 km), bij een masthoogte van 100 m en een tiphoogte van 150 m, en een vlieghoogte van 300 m, 600 m, 1000 m en 3000 m (RCS vliegtuig is 100 m²).

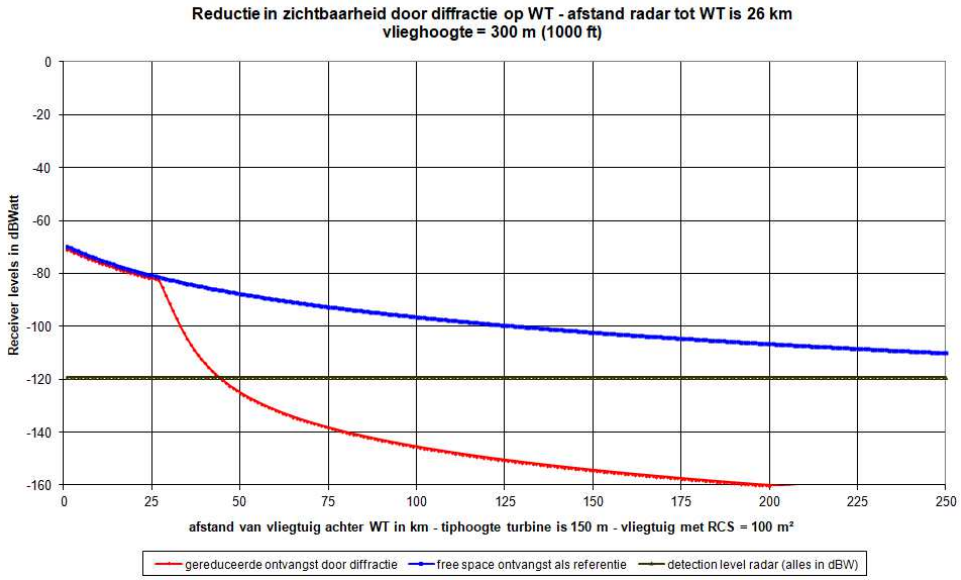


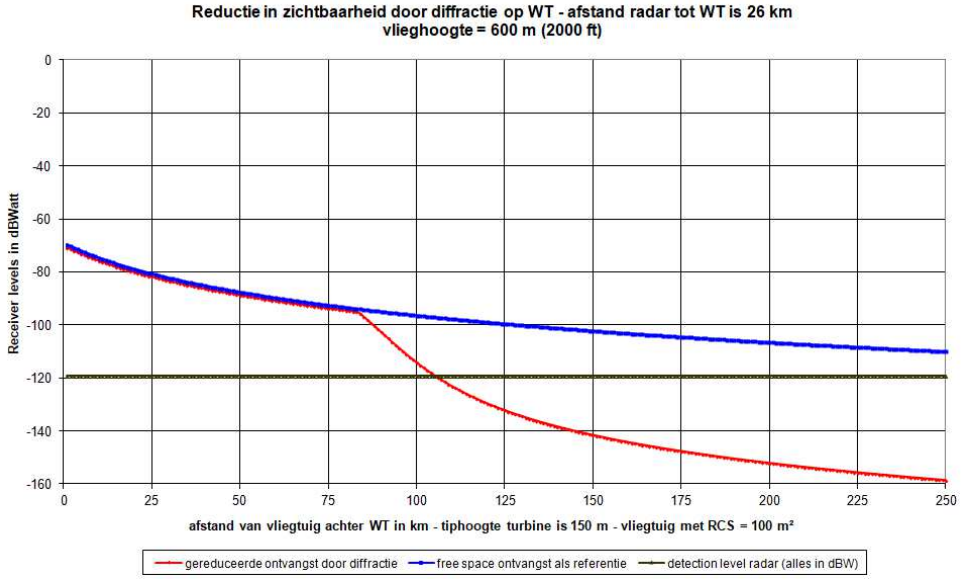

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

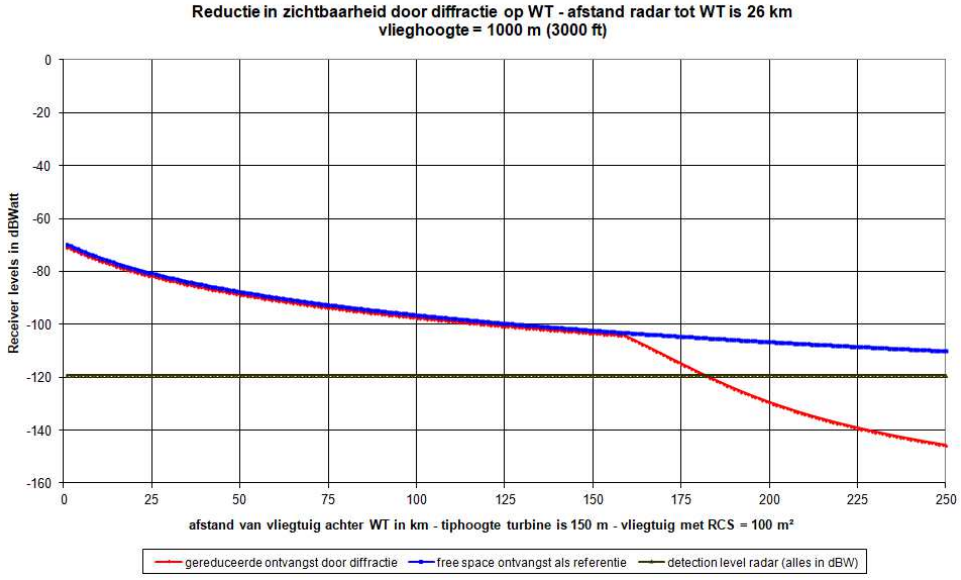

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

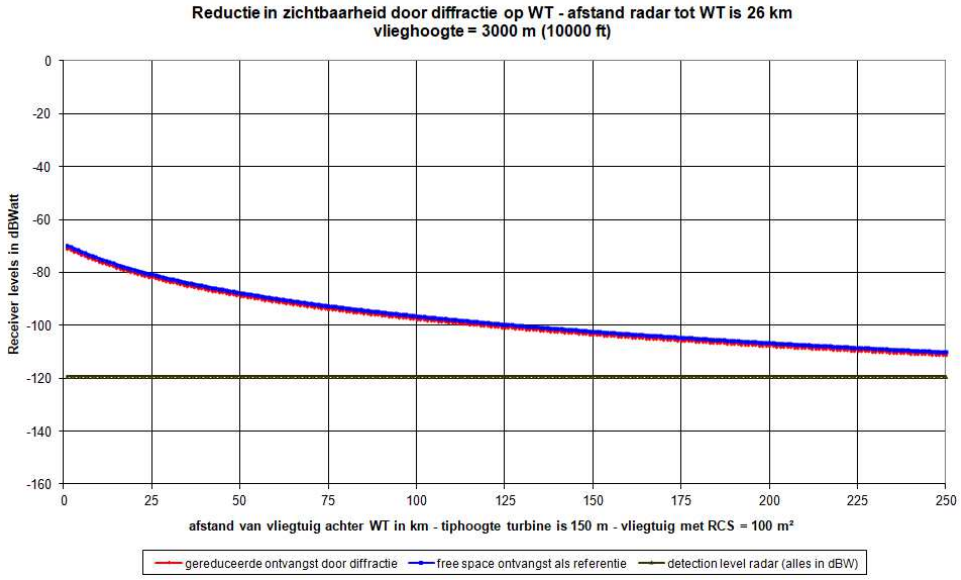

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

De volgende reeks grafieken toont de verminderde radarwaarneming op de radarassen van een aantal bestaande windturbines aan het Kluizendok, bij een tiphoogte 150 m.









Een belangrijk aspect dat inderdaad dient bekeken te worden is in hoeverre deze vermindering in radarzichtbaarheid vergelijkbaar is, dan wel afwijkt, van de huidige situatie in deze waarnemingsrichting ten gevolge van de reeds aanwezige windturbines in de zone van de dokken van de Gentse haven.
Uit deze vergelijkende analyses kan geconcludeerd worden dat onder de huidige omstandigheden, er een vermindering in de radar zichtbaarheid zal optreden op de "eigen" radaras van de windturbine, zeker voor een lage vlieghoogte en een kleine RCS van het vliegtuig. Onder de Fresnel voorwaarde n=4 treedt er voor dit project geen locale clustering in azimuth op, en bij n=9 een beperkte locale clustering tussen een aantal windturbines, zodat de hoogte van de windturbine als de bepalende factor dient aangenomen te worden.

Zie verder ook annex 4 voor een gedetailleerd overzicht bij verschillende RCS waarden van een overvliegend vliegtuig.

7.3. PSR false target reports (echos from windturbines)

7.3.1. Echo's van een windturbine zelf – maskering en clutter

Rekening houdend met een aantal statistische gegevens die beschikbaar zijn, zal de windturbine door de radar waargenomen worden. Zie hiervoor §5 hierboven. Dit houdt dus in dat er een mogelijke raised treshold of maskering van andere objecten dient in aanmerking genomen te worden.

De monostatische RCS van een windturbine (stand rotor, pitch en yaw) is niet constant in functie van de tijd, zoals in een voorbeeld in de volgende figuur aangegeven (QinetiQ).

Bijgevolg zal dus ook een vorm van clutter gegenereerd worden in de directe omgeving van elke windturbine in deze zone.

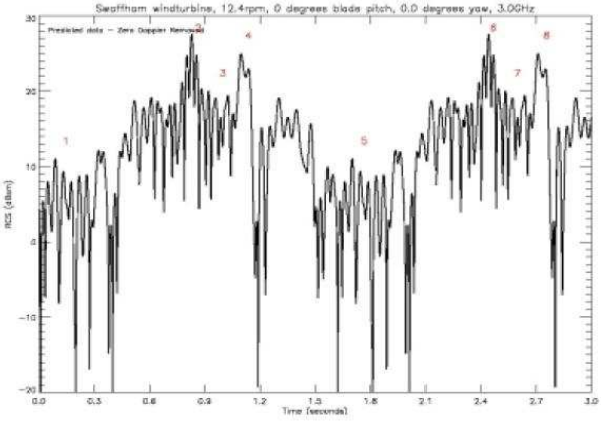


Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

Uit verschillende studies kan dus afgeleid worden dat de RCS van een windturbine varieert tussen 0 dBsqm en 30 dBsqm, met een gemiddelde waarde tussen 10 dBsqm en 20 dBsqm. Afhankelijk van de eigen ogenblikkelijke monostatische RCS (zie hierboven onder §5.) zal een vliegtuig dus in de betreffende radarcellen al dan niet gemaskeerd worden.
Hierbij dient ook rekening gehouden met de ogenblikkelijke waarnemingsrichting van de radar, in combinatie met de positie van de windturbinerotor en de positie van het vliegtuig.

Naast deze maskeringen van vliegtuigen in de betreffende radarcellen, is er nog de clutter die ontstaat door de steeds (relatief snel) wisselende reflecties van de bewegende onderdelen van de windturbines.

Afhankelijk van de beschikbare post-signal processing kan dit effect van bijkomende clutter zelf (gedeeltelijk) uitgefilterd worden, waarbij stochastisch optredende reflecties verder niet verwerkt worden. In eerste instantie wordt daartoe de gevoeligheid van de radarontvanger verminderd, zodat deze clutter onder het detectieniveau komt te liggen.
Dit gebeurt met de beschikbare algorithmes van CFAR (GOCA), waarbij met een gemiddelde clutter van de betreffende cel(len) en de omgevende cellen wordt rekening gehouden. Dit vermindert niet alleen de gevoeligheid voor de waarnemingscel van de windturbine zelf, maar ook deze van de directe omgeving ervan.

Het basisprincipe van CFAR signal processing wordt in de volgende figuren schematisch weergegeven: er wordt een gemiddelde omgevingsruis berekend, en van daaruit wordt een adaptieve verhoogde treshold van de receiver ingeschakeld, zodat de betreffende ruis niet wordt gedetecteerd en dus ook geen aanleiding kan geven tot een vals signaal en een false tracking als gevolg.

Het CFAR algorithme werkt optimaal voor een groter gebied waarin een uniform verdeelde (Gauss of Rayleigh distributie) ruis (zee, wolken,) mag verondersteld worden. Een erkend probleem is wanneer er zich een multiple target waarneming voordoet in de betreffende zone, en waarbij de verhoogde treshold van het ene object de waarneming van het tweede object maskeert. Daarvoor werd een algorithme ontwikkeld waarbij guard cells rond de actieve waarnemingscel worden ingelast. Zie hiervoor o.a. [Rohling – 1983].

Het gereflecteerde signaal van een windturbine wisselt vrij snel tijdens de omwenteling van rotor en varieert volgens de ogenblikkelijke RCS waarde. Deze kan ingeschat worden tussen 0.1 m² tot 100 m², met een maximale waarde van 200 m² en de grootste waarschijnlijkheid van voorkomen tussen 10 m² en 100 m². Zie hiervoor § 7.1.

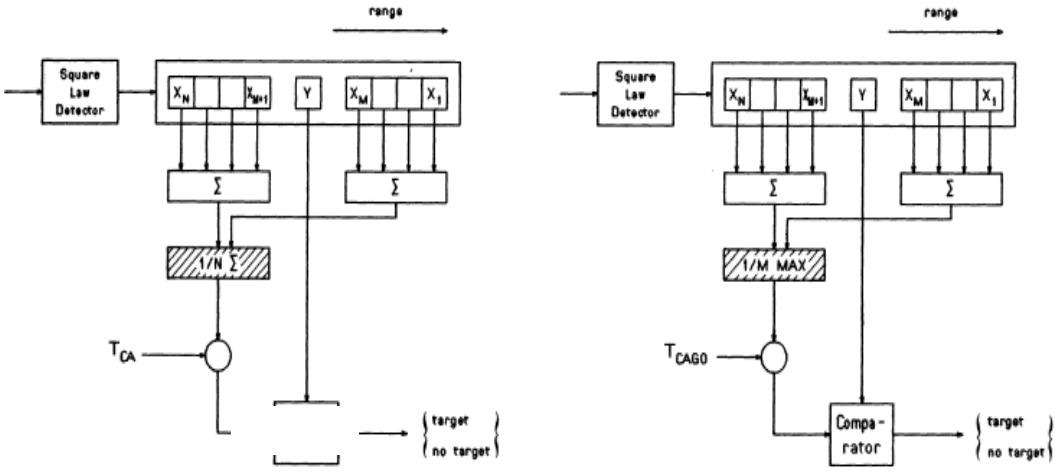
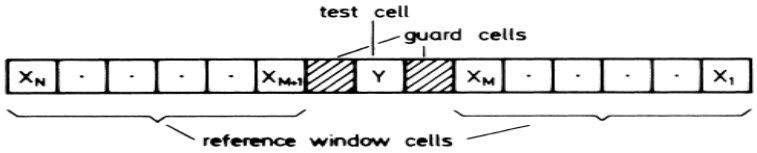
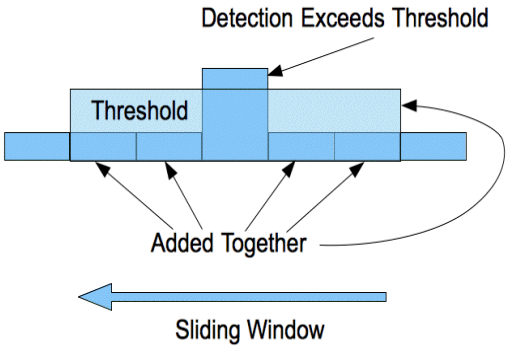
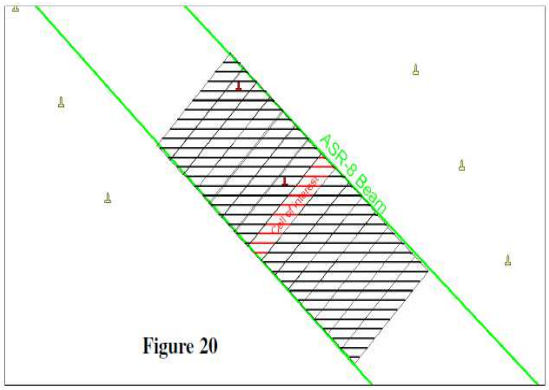


Fig. 2. Comparison of CA and CAGO CFAR procedures.

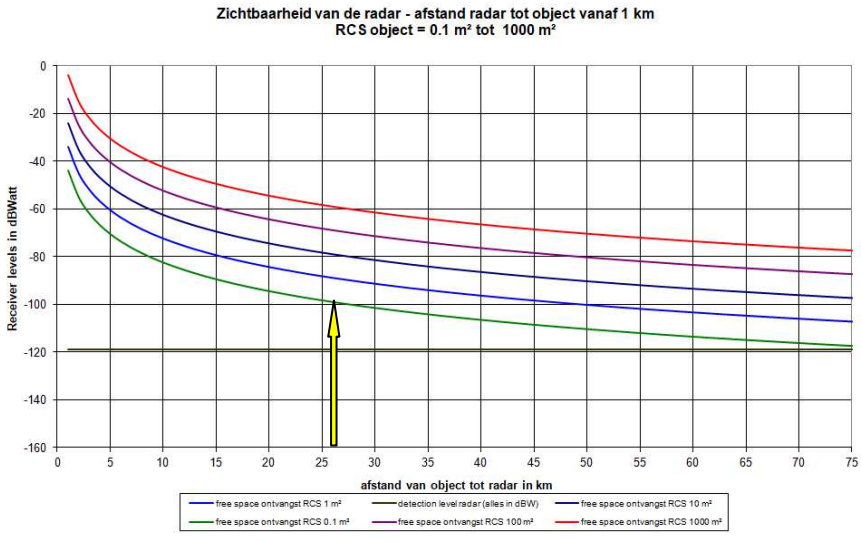






Het gereflecteerde signaal voor een windturbine bij verschillende waarden van de ogenblikkelijke RCS wordt in de volgende figuur herhaald.

De volgende grafiek en tabel geven als voorbeeld een overzicht van het ontvangen signaal, voor een object op een afstand van 26,9 km en voor verschillende RCS waarden.



RCS waarde	signaal in dBW
0.1	- 99 dBW
1	- 89 dBW
10	- 79 dBW
100	- 69 dBW
1000	- 59 dBW

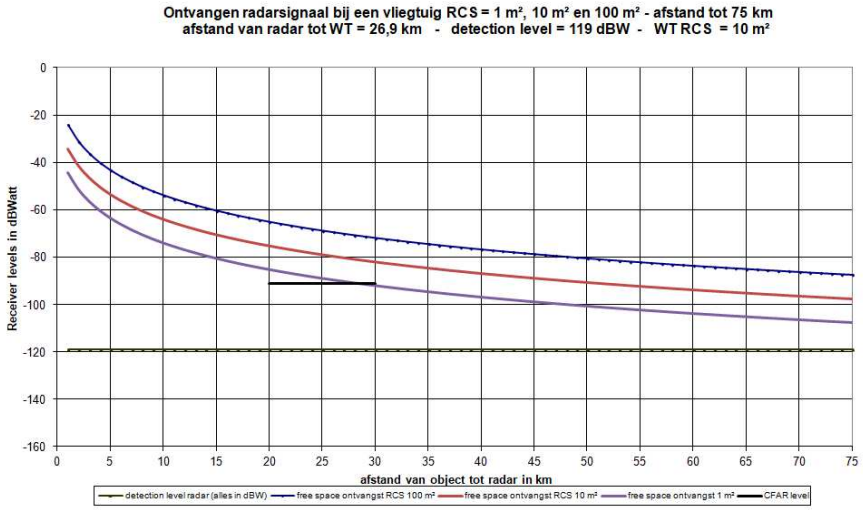
Als voorbeeld wordt een GOCA-CFAR berekening genomen met 16 cellen aan elke kant van de waarnemingscel en een RCS waarde voor de windturbine van 100 m². Het ontvangen gereflecteerde signaal bedraagt dan – 69 dBW.

Indien in de omliggende waarnemingscellen geen objecten aanwezig zijn, mag aangenomen worden dat deze cellen op het ruisniveau worden waargenomen. Door het CFAR (GOCA) algorithme wordt in de invloedszone rond het windturbinepark de ontvangstgevoeligheid naar ongeveer – 81 dBW terug gebracht, waarbij een CFAR getal van 2 werd genomen.

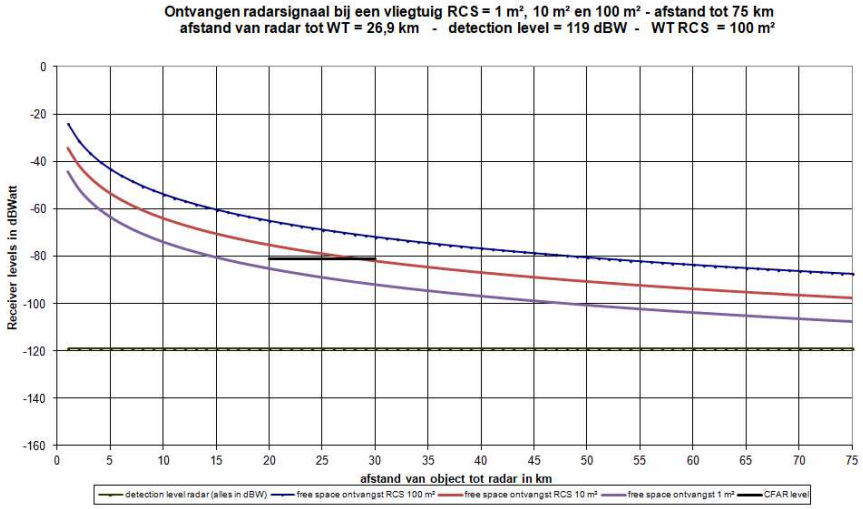
RCS waarde	CFAR threshold in dBW
0.1	- 111 dBW
1	- 101 dBW
10	- 91 dBW
100	- 81 dBW
1000	- 71 dBW

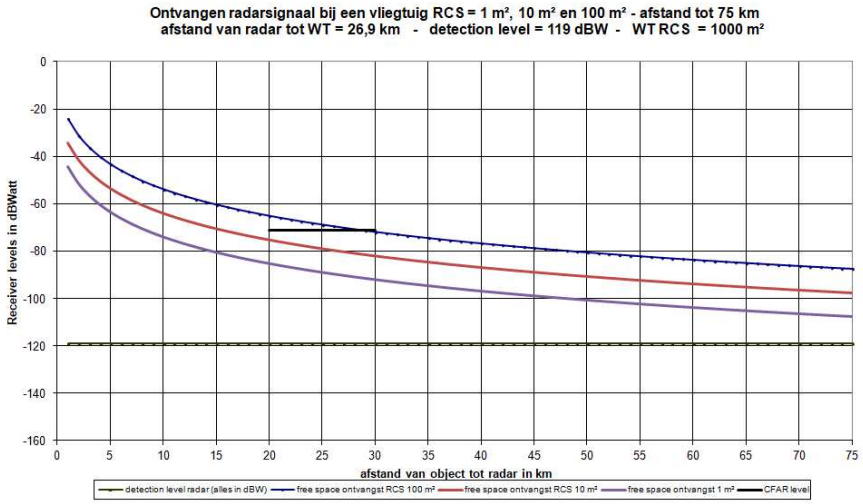
Verder dient nog rekening gehouden met het feit dat een minimale S/T (6 dB) nodig is in het geval van een SW1 object, om een voldoende hoge PD% te garanderen. Zie hiervoor het verband tussen threshold, S/N en de Probability of Detection (PD%) in annex 1. Het reële probleem is dus de maskering van een object door de verhoogde CFAR threshold.

Bij een ogenblikkelijke WT RCS = 10 m², kunnen objecten met een RCS << 10 m² dus tijdelijk onder de bijhorende adaptieve gevoeligheidsdrempel van de ontvanger terecht komen. Dit wordt weergegeven in de volgende figuur, waarbij de CFAR threshold wordt aangegeven voor de CFAR zone, zonder verder rekening te houden met de nodige S/N waarden tegenover de Pfa (zie verder annex 1).



Meer voorbeelden worden gegeven voor het geval waarbij de ogenblikkelijke WT RCS kan oplopen tot 100 m² en tot 1000 m².





De betreffende zone kan ingeschat worden met een straal van ongeveer 1800 m (1 nmile) in de langsrichting op de lijn radar/windturbines.
De verwerking van deze clutter hangt volledig af van de beschikbare signal processing en van de CFAR algorithmes (GOCA of SOCA). De threshold binnen deze zone is niet constant en wisselt volgens de ogenblikkelijke waarde van de RCS van de betrokken windturbines.

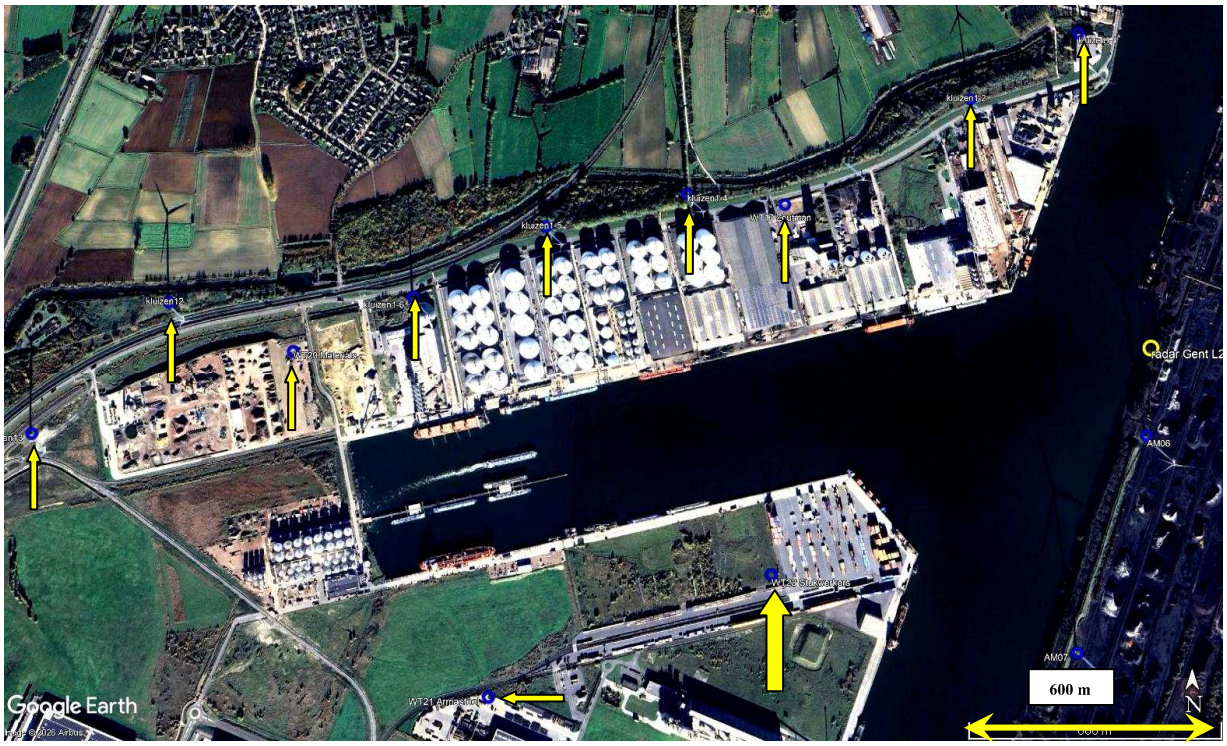
Zoals hoger aangehaald kan uit verschillende studies afgeleid worden dat de RCS van een windturbine varieert tussen 0 dBsqm en 30 dBsqm, met een gemiddelde waarde tussen 10 dBsqm en 20 dBsqm. Afhankelijk van de eigen ogenblikkelijke monostatische RCS (zie §5) zal een vliegtuig dus in de betreffende radarcellen al dan niet gemaskeerd worden. Bovendien dient daarbij ook nog rekening gehouden met de ogenblikkelijke waarnemingsrichting van de radar, in combinatie met de positie van de windturbinerotor en het vliegtuig.

Gegeven de waarschijnlijkheidsanalyse van de monostatische RCS voor een typische windturbine (zie §7.1.), kan een volgende inschatting gemaakt worden van de detection probability boven de betreffende cluster van windturbines:

RCS vliegtuig	Pd
1 m²	10 %
10 m²	30 %
20 m²	60 %
100 m²	95 %
> 100 m²	> 95 %

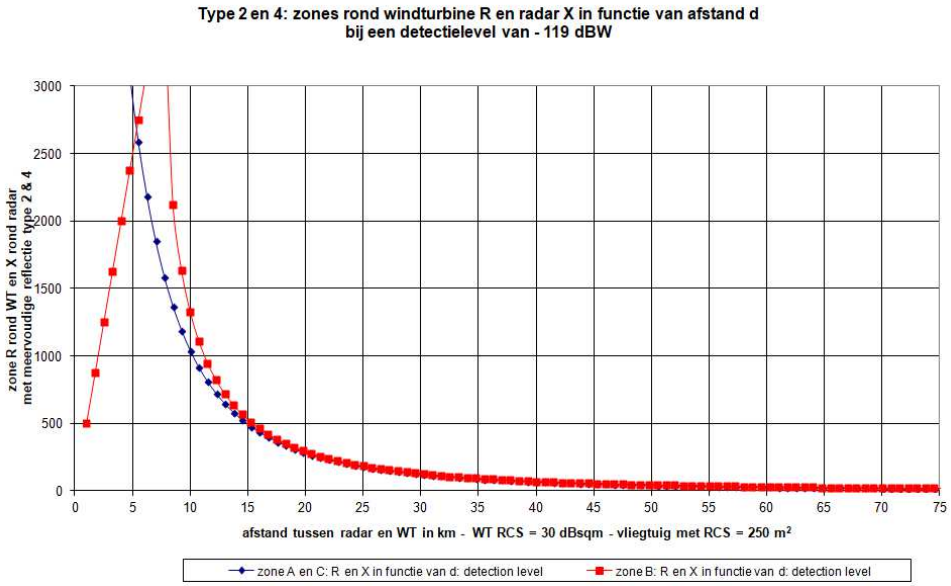
7.3.2. Echo's van de windturbines onderling aan het Kluizendok

De vraag stelt zich verder naar mogelijke meervoudige reflecties tussen windturbines, waarbij dus nog meer "valse windturbine" zou waargenomen worden.

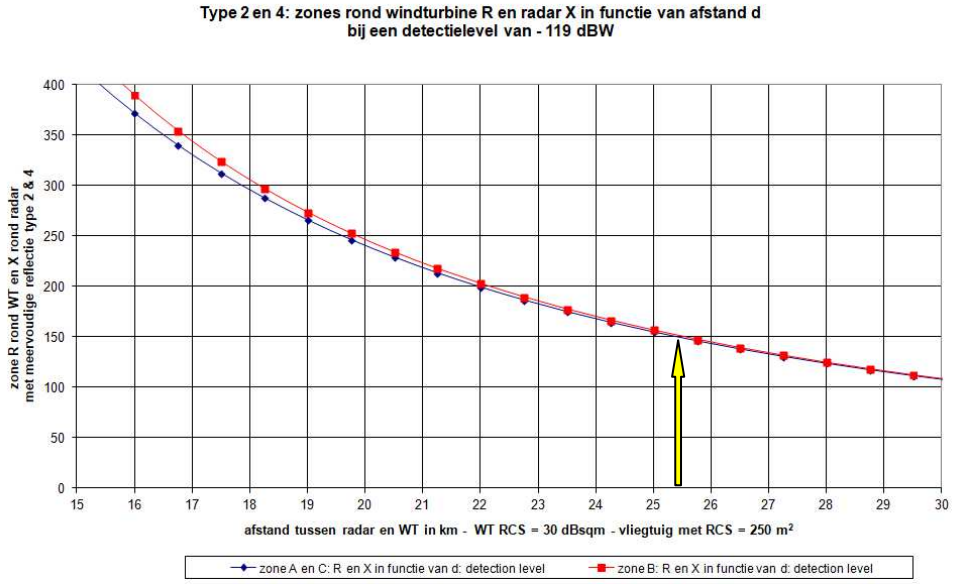


Afhankelijk van de oriëntatie van de windturbines t.o.v. de radar en hun onderlinge oriëntatie (stand rotor, pitch en yaw), zullen de bijhorende RCS waarden variëren in de tijd. Voor een worst case (RCS WT = 1000 m²) kan de zone, waarbij een cumulatief effect tussen de turbines ontstaat, ingeschat worden op ongeveer 150 m rond elke turbine (of 300 m tussen twee turbines), zoals uit de volgende grafieken (worst case) kan afgeleid worden.

Op te merken is ook dat er, niettegenstaande de kleine afstanden tussen de radarassen, er geen meervoudige reflecties kunnen optreden tussen de windturbine van dit project en deze van andere windparken, gegeven de onderlinge afstanden tussen de windturbines zelf.



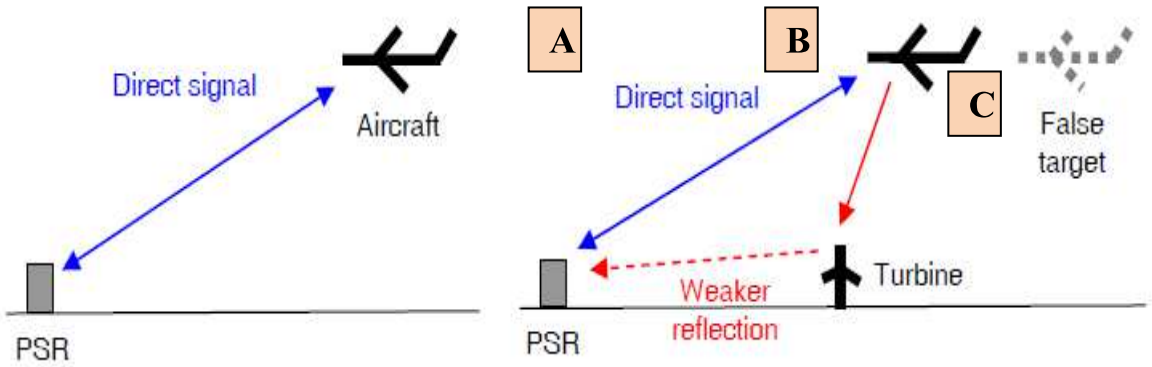
De onderstaande grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 30 km tussen radarinstallatie en windturbines.



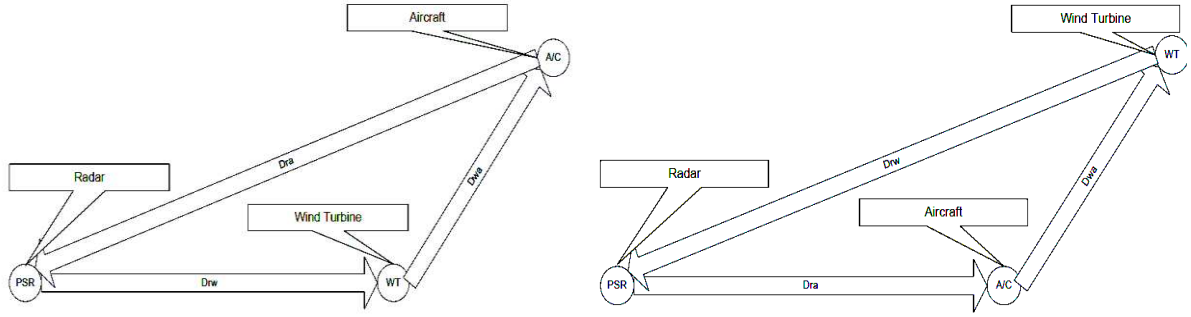
Nieuwe algorithmes in verband met de signal processing van de radarsignalen werden en worden nog steeds ontwikkeld en geïmplementeerd op de radarinstallatie. Hierdoor wordt het mogelijk om per waarnemingscel een afzonderlijke signal processing door te voeren.
In annex 2 en 3 worden de mogelijkheden en effecten besproken wanneer deze speciale opties van signal processing toegepast worden.

7.3.3 PSR false targets reports (multiple reflections)

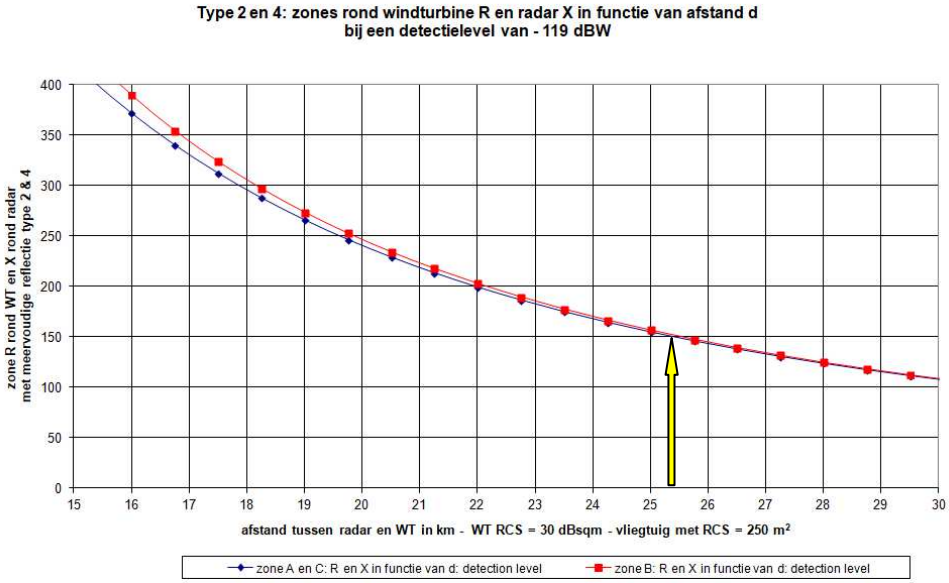
Een volgende vraag betreft het mogelijke optreden van meervoudige reflecties of valse echo's van andere objecten of vliegtuigen. In de volgende figuren worden de zones aangegeven waarbinnen deze effecten kunnen optreden (rond zowel de radarinstallatie zelf als de windturbine), in functie van de afstand tussen radarantenne en windturbine, en dat voor een aantal representatieve combinaties van bistatische RCS waarden van de windturbine en van een overvliegend vliegtuig.



Uit zowel de literatuur als een aantal eerdere studies, blijkt dat van de 4 mogelijke situaties van meervoudige reflecties (Annex C van het Eurocontrol document), er slechts 2 dominant zijn. Deze worden hieronder schematisch weergegeven.



De volgende figuur geldt voor een worst case conditie, met een RCS van de windturbine van 30 dBSqm (1000 m²) en een RCS voor het vliegtuig van 350 m². Het betreft voor beide objecten de bistatische RCS waarde (op de radarfrequentie in de IEEE L-band).



Onder worst case condities blijven deze zones van meervoudige reflecties beperkt tot maximaal 150 meter rond en boven de windturbines. Gegeven de normale vlieghoogtes en de veiligheidsvoorschriften stelt dit dus geen operationeel probleem.

7.4. PSR processing overload

Omtrent de processing mogelijkheden zijn geen gegevens vrijgegeven.

7.5. PSR raised thresholds

Raised threshold treedt nu reeds op in de gehele zone in de richting van de dokken van de Gentse haven. Alleen op de locatie van de nieuw geplande windturbine zal een zeer beperkte extra raised threshold cel bijkomen.

8. Conclusies

Behalve het EUROCONTROL-GUID-0130 document: *"**Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors**"*, is er nog een recente locale richtlijn, die stelt dat voor een tiphoogte tot 300 m, er een "***detailed engineering assessment***" nodig is binnen een afstand van 22 km. Daarbuiten blijft het EUROCONTROL document uiteraard van toepassing waarbij in de LoS een "***simple engineering assessment***" dient uitgevoerd te worden. Deze afspraak geldt zowel voor de civiele luchtvaart als Defensie.

Uit de bovenstaande analyse kan het volgende geconcludeerd worden:

8.1. Specifiek voor de radarinstallatie van Semmerzake is de 3D karakteristiek van deze radar, waardoor de positie van vliegtuigen niet alleen naar afstand en richting, maar ook naar hoogte kan worden waargenomen. Deze mogelijkheid wordt bekomen door bij ontvangst, een "virtuele" radarbundel met verschillende elevatie-hoeken te genereren, en waarbij de hogere radarbundels geen invloed zullen hebben van laaggelegen reflecterende voorwerpen uit de omgeving.
Dit houdt in dat enkel een analyse is gemaakt voor de laagste bundel van de ontvanger.

8.2. Voor het specifieke project "Stukwerkers" dient ook rekening gehouden te worden met de reeds bestaande toestand, waarbij in dezelfde richting voor de radarbundel, reeds een groot aantal windturbines in uitbating, en/of gegund zijn in een voorliggend gebied aan de dokken van de Gentse haven, en specifiek aan het Kluizendok zelf.
Bij een vergelijkende analyse van de bestaande situatie en de mogelijke effecten van de windturbine "Stukwerkers" kan geconcludeerd worden dat de mogelijke effecten gelijkaardig zijn aan deze bij een tweetal reeds gebouwde windturbines (Zoutman en AC Materials), zoals in de tabel van §2.2. aangegeven.

8.3. Er kan gesteld worden dat enkel voor de laagste radarbundel er een beperkte bijkomende vermindering van reikwijdte zal optreden voor kleinere vliegtuigen (op lage vlieghoogte) dan nu reeds het geval is voor deze richtingen. In annex 4 en 5 wordt in detail de vergelijking gemaakt tussen de bestaande situatie (met een gemiddelde masthoogte voor de windturbines van 100 m en een tiphoogte van 150 m), en windturbines met een masthoogte van 162,5 tot 192,5 m en een tiphoogte van 250 tot 280 m, en de mogelijke effecten ten gevolge van de windturbine "Stukwerkers".
Hieruit blijkt dat het project "Stukwerkers" een gelijkaardig effect naar verminderde reikwijdte op lage hoogte zal hebben, als bij de andere windturbines met gelijkaardige karakteristieken, die reeds in uitbating zijn.

8.4. Er zullen geen valse echo's of meervoudige reflecties waargenomen worden, noch tegenover overvliegende vliegtuigen, noch tussen de verschillende windturbines in de (directe) omgeving van het project "Stukwerkers".

8.5. Als conclusie kan dus gesteld worden dat er beperkte bijkomende impact is van het project "Stukwerkers" op de correcte werking van de radar van Semmerzake, maar gelijkaardig aan de effecten van andere gerenoveerde windturbines aan het Kluizendok.

Bovendien dient vermeld te worden dat de aanwezige software voor de verwerking van de ontvangen signalen (Intersoft VCC^{+} NGSP) toelaat om een zekere mitigatie in te voeren voor de waarnemingscellen waar deze geplande windturbine "Stukwerkers" zich bevindt. Zodat de impact van dit project "Stukwerkers" in voorkomend geval tot een minimum kan beperkt worden, dan wel volledig geneutraliseerd.

Annex 1. Noodzakelijke S/N waarden voor een behoorlijke PD%

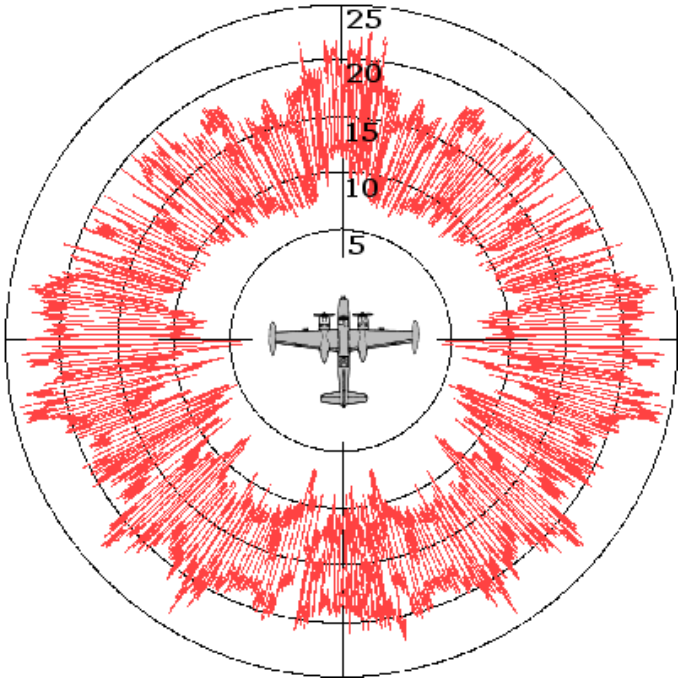
In deze annex wordt ingegaan op de noodzakelijke S/N waarden om een zekere Probability of Detection (in %) te bekomen, en dit in functie van de Probability of false alarms (Pfa), voor zowel objecten die een constante RCS hebben (Swerling 0 of 5) en traag veranderende RCS waarden (Swerling 1). In de praktijk kunnen zowel overvliegende vliegtuigen als windturbines met ronddraaiende rotoren onder Swerling 1 gemodelleerd worden.

A1.1. Radardoorsnede van vliegtuigen en windturbines

Een belangrijke parameter is de radardoorsnede of "Radar Cross Section (RCS)" van de betrokken vliegtuigen (nuttig doel) als van andere obstakels (windturbines).
Voor beide zijn niet altijd alle gegevens bekend, maar uit een aantal studies blijken toch de volgende typische voorbeelden.

A.1.1.1. RCS van vliegtuigen

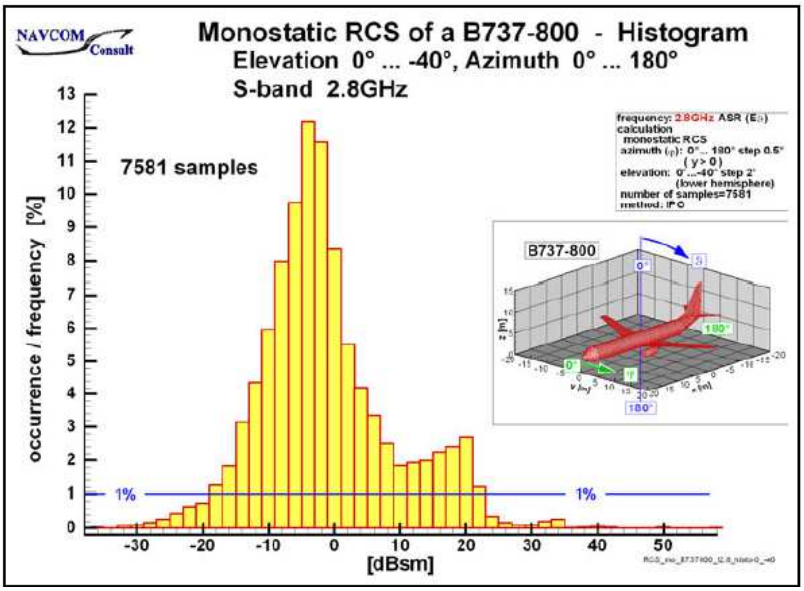
In de vakliteratuur worden een aantal RCS karakteristieken van vliegtuigen gevonden. Een typisch voorbeeld voor de monostatische RCS van een groot transportvliegtuig wordt hieronder gegeven.

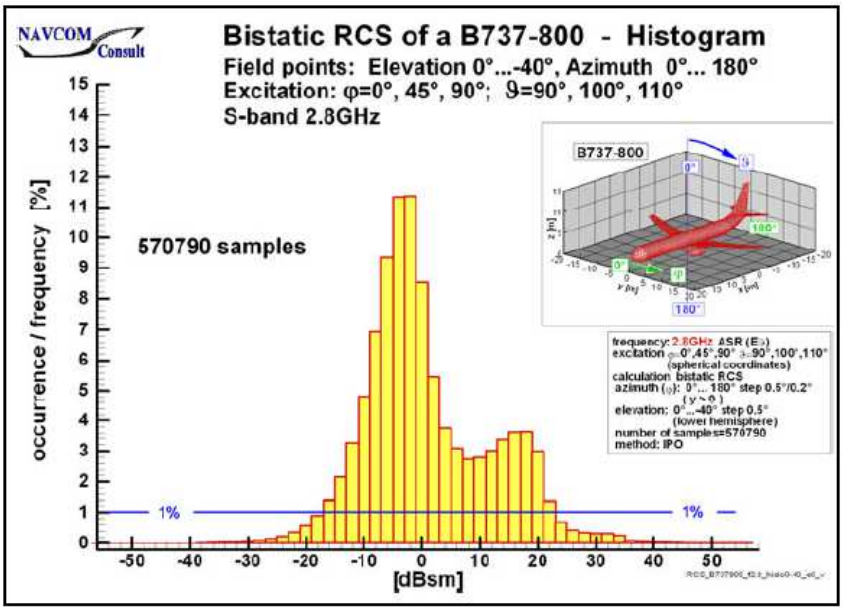


RCS-waarden in dB square meter (dBsqm)

Hieruit blijkt dat de RCS waarde van een vliegtuig geen vast getal is, maar varieert volgens de invals- en observatierichting. Maar een waarde van 20 dBsqm kan als een goede bovenwaarde genomen worden voor een aantal berekeningen (afhankelijk van de parameter dient met een minimale of maximale waarde rekening gehouden voor een worst case analyse). Een RCS van 0 dBsqm komt overeen met $1m^2$, 10 dBsqm met $10m^2$ en 20 dBsqm met 100 m^2.

Gelijkaardige conclusies volgen uit een statische analyse door Greving [*Greving 2007 - Navcom Consult*], en uit studies van Qinetiq en EADS/Cassidian.





A.1.1.2. RCS van windturbines

Uit een aantal studies (o.a. uitgevoerd door Qinetiq, Navcom en EADS/Cassidian), en gebaseerd op zowel simulaties als metingen in de praktijk (weliswaar op slechts een paar types windturbines), kan toch gesteld worden dat een windturbine een gemiddelde RCS heeft die eveneens tussen 10 dBsqm (of dus 10 m^2) en 20 dBsqm (of dus 100 m^2), en met mogelijke korte piekwaarden tot 30 dBsqm (1000 m^2).

De RCS waarde is daarbij erg afhankelijk van zowel de pitch als de yaw van de windturbine met betrekking tot de invallende radarsignalen.

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

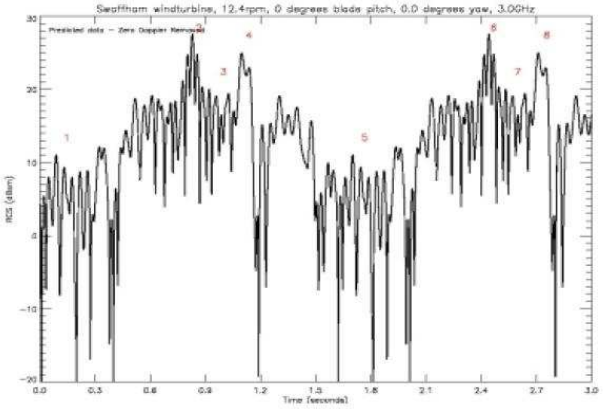
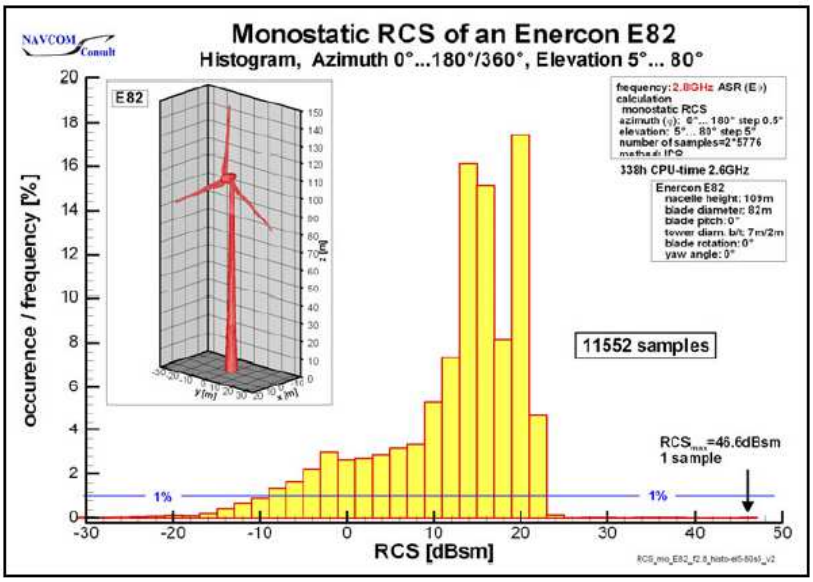
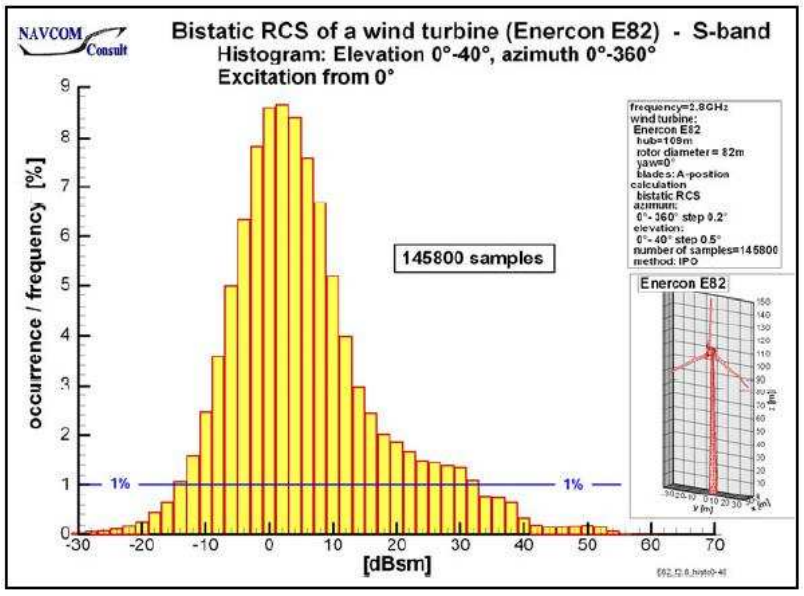


Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

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

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





A.1.1.3. Voorkomende probabiliteit van veranderende RCS waarden

Een meer analytische beschrijving van fluctuerende RCS waarden werd beschreven door Peter Swerling, aan de hand van een classificatie van het type fluctuatie en een probabiliteitsdistributie. Voor zowel een vliegtuig als een windturbine wordt aangenomen dat dit een Swerling type 1 is (SW1), en waarbij de RCS slechts "traag" varieert (of dus pas aanzienlijk verandert per rotatie van de radarantenne, maar niet per herhalingspuls):

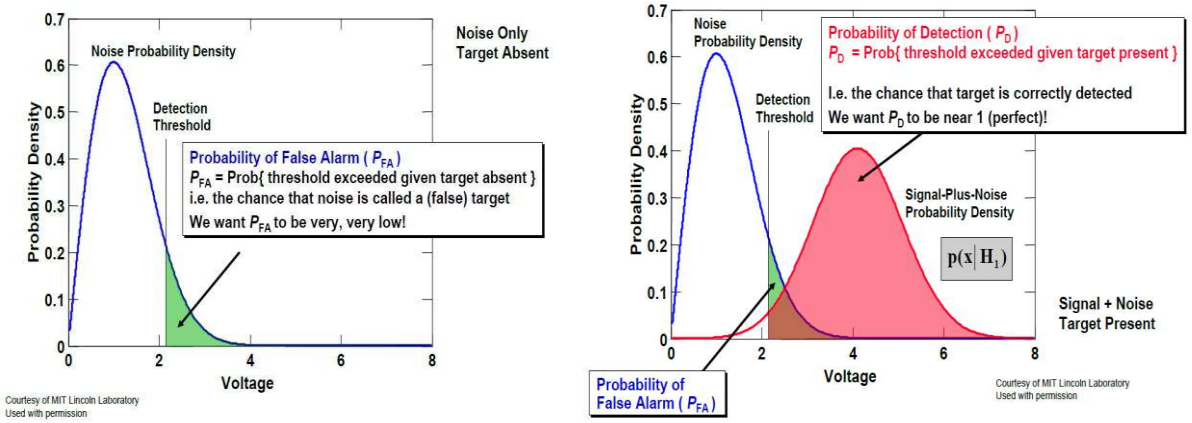
$$f(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{AV}^2} e^{-2\sigma/\sigma_{AV}} U(\sigma)$$

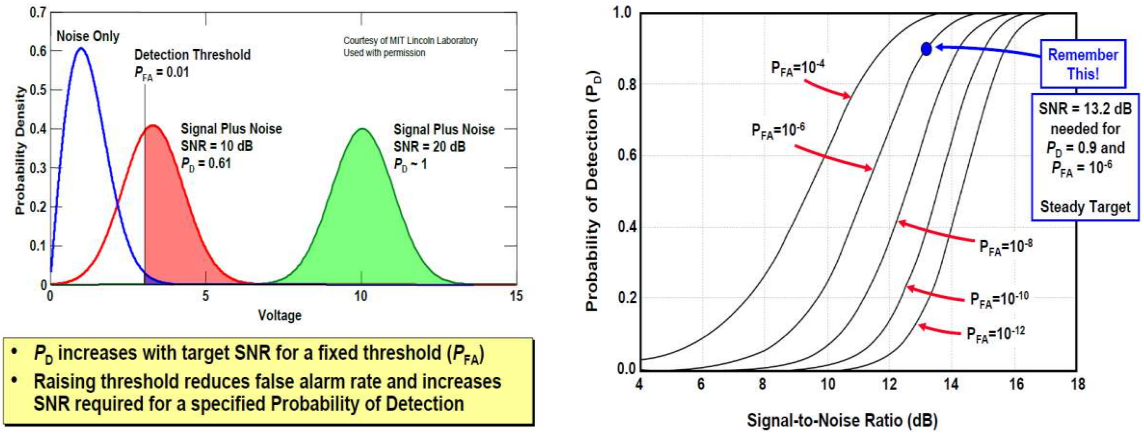
Verder in deze analyse wordt bij een RCS waarde verondersteld dat het de waarde σ_{AV} is.

A.1.2. Probabiliteit van Detectie (PD)

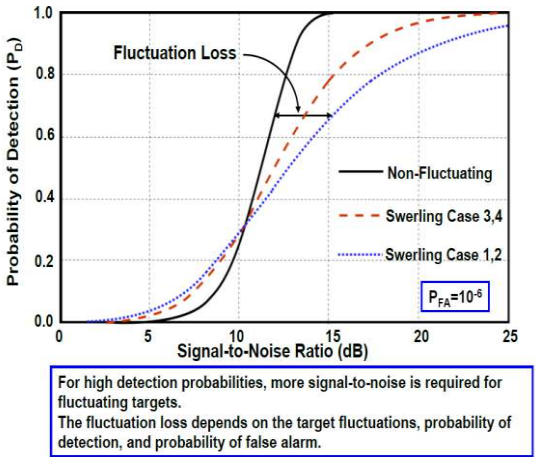
De Probabiliteit van (correcte) Detectie (PD) of van het voorkomen van een False Alarm (P_{fa}) hangt af van de keuze van een threshold voor detectie, en van de S/N verhouding tussen de ruis van de radarontvanger en het gereflecteerde signaal.

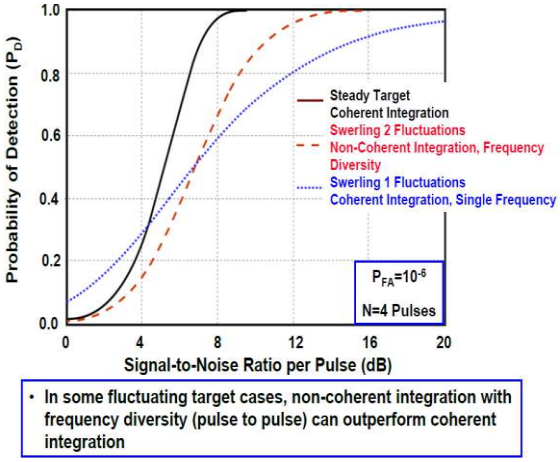
Het verband tussen deze parameters is duidelijk aangegeven in de volgende figuren:





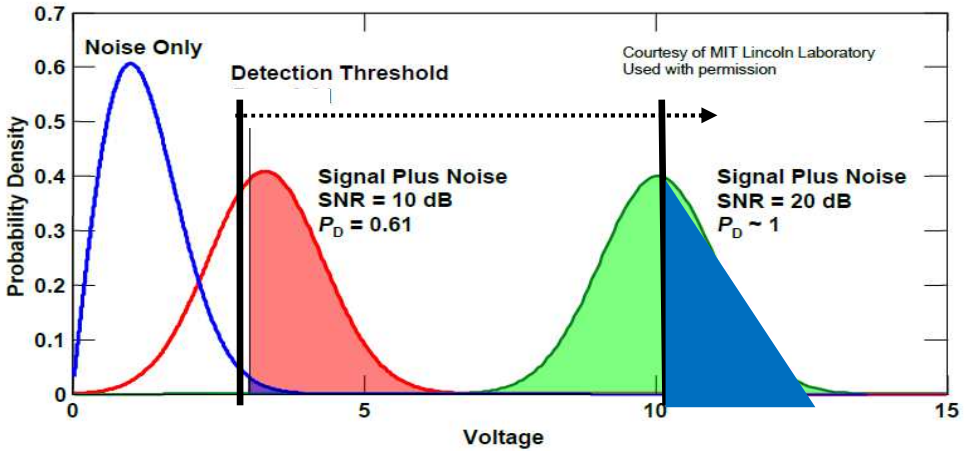
Bij een fluctuerende RCS van een object, en een $P_{fa} = 10^{-6}$ wordt PD (%) in functie van de S/N verhouding gegeven door de volgende curven, waarbij al dan niet een integratie van de opeenvolgende radarpulsen wordt gedaan in de signal processing. Belangrijk in de figuren is het geval SW1, met een coherente integratie.





In de praktijk dient er dus van uit gegaan dat bij fluctuerende RCS waarden van een object, een voldoende PD van meer dan 80% bekomen wordt bij een S/N = 12 à 18 dB bij de RCS referentiewaarde σ_{AV}, afhankelijk van de signal processing.

Verder dient nog rekening gehouden met het feit dat een minimale S/T (typisch 6 dB) nodig is tegenover de bovenstaande CFAR (GOCA) treshold voor een goede detectie van het signaal. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de S/N meestal vrij groot zal zijn, en dat de problematiek van al of niet detecteren te wijten is aan een verhoogde threshold met een zeer kleine P_{fa} waarde, maar ook een vrij kleine (of onbestaande?) PD%.
Dit wordt in de volgende figuur schematisch geschetst hoe de verschillende parameters evolueren in functie van een variërende Detection Threshold.

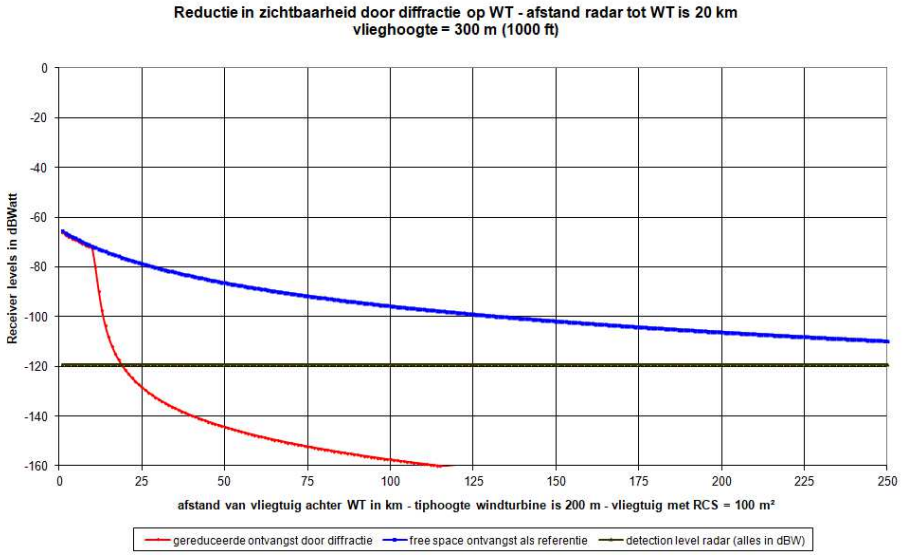


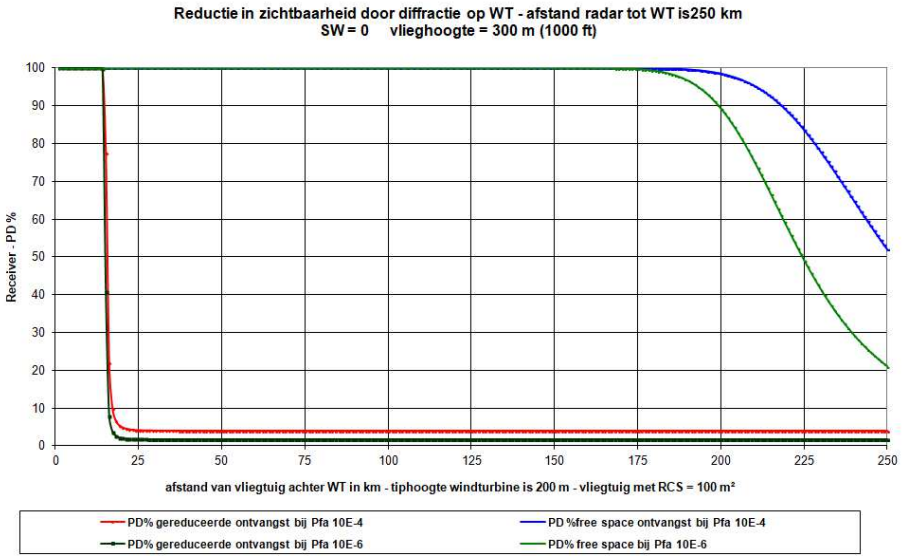
Indien een inschatting kan gemaakt worden van het ruisniveau (meestal de noise floor van de receiver), het gereflecteerde signaalniveau van het object, het Swerling model van het object en een vooropgestelde P_{fa} waarde (of gekoppeld daaraan de ingestelde threshold), is het dus mogelijk een grootte orde van de Detection Probability PD% te verkrijgen.

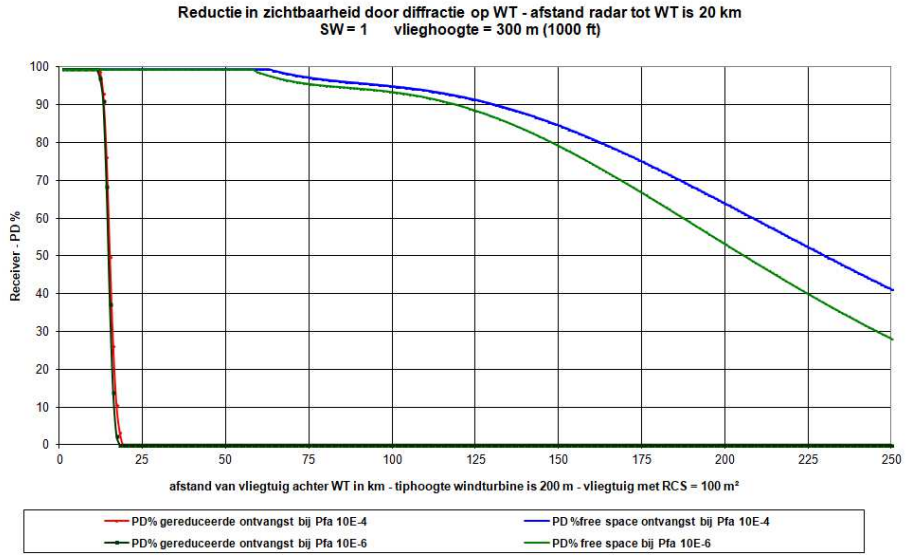
Fundamentele formules werden ontwikkeld binnen het wetenschappelijk werk van Swerling, Robertson (basisformules), Marcum (PD% Q function) en Richards, en verder Albersheim en Shnidman die empirische analytische formules ontwikkelden.

De volgende grafieken tonen dit verband tussen ontvangen signaal, S/N en de PD% voor Swerling 0 en Swerling 1 condities van de objecten, en dit onder verschillende condities van de Fresnel edge attenuation (totale clustering in azimuth en voldoende transparante propagatie tussen de windturbines).
Hierbij wordt de tiphoogte van 200 m als voorbeeld meegenomen, en een gemiddelde referentieafstand tussen radar en windturbine(s) van 20 km, en $RCS_{vliegtuig}$ = 100 m².

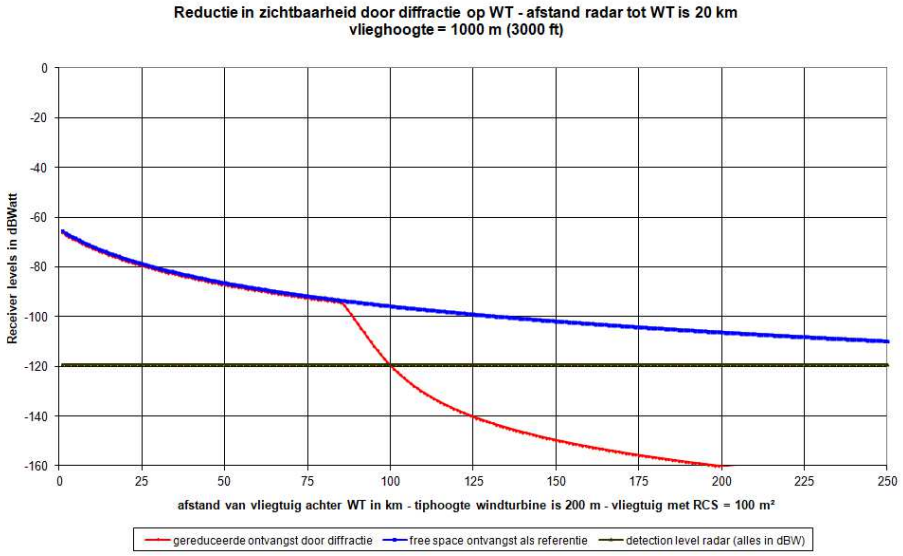
A.1.3. Probabiliteit van Detectie bij een vlieghoogte van 300 m en volledige clustering

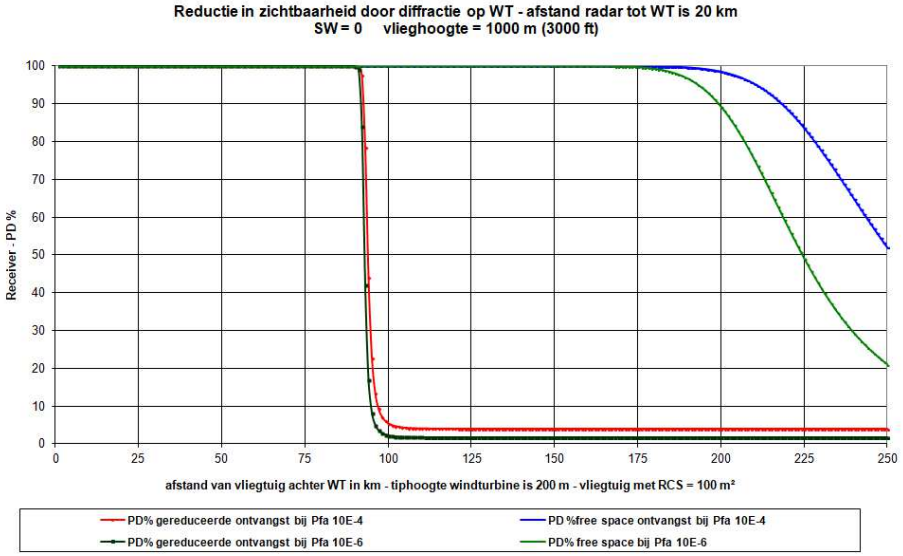


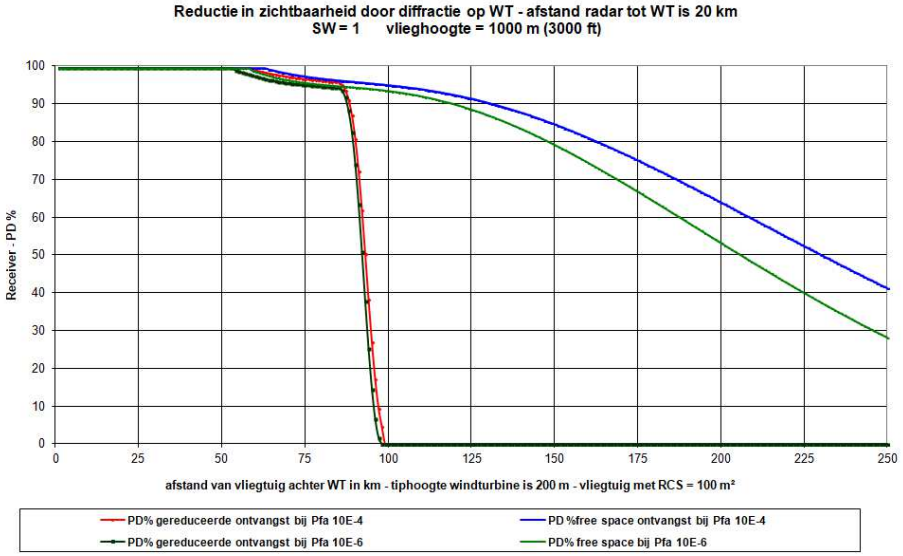




A.1.4. Probabiliteit van Detectie bij een vlieghoogte van 1000 m

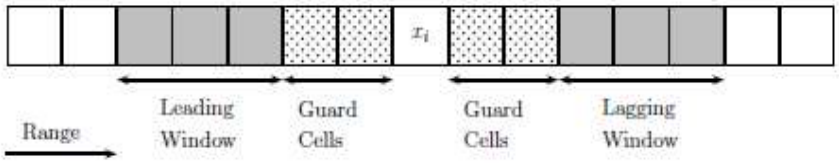


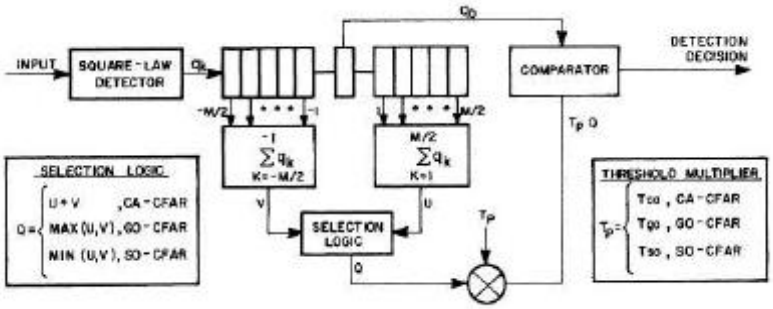




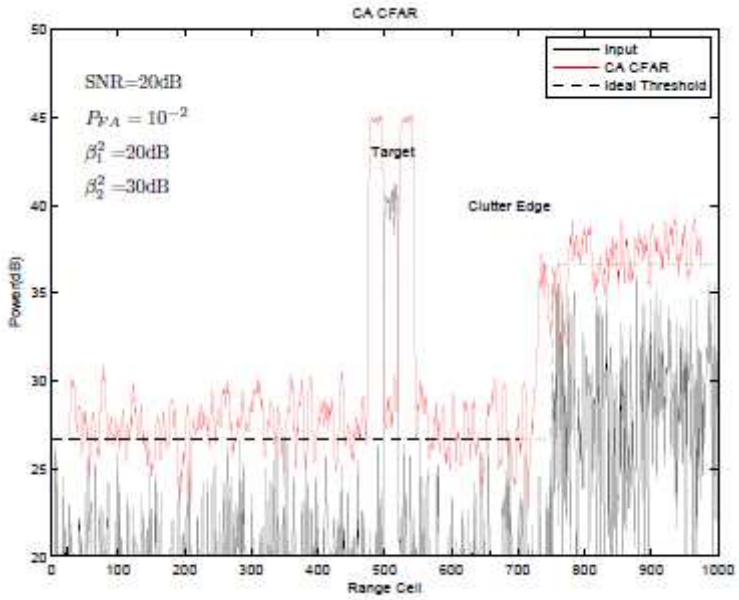
Annex 2. CFAR algorithmes

CFAR algorithmes zijn ontwikkeld om de achtergrond ruis van regen, wolken, en andere kleine bewegende voorwerpen uit te filteren. Dit type van achtergrondruis wordt clutter genoemd, en de algorithmes zijn typisch ontwikkeld voor ruis die zich nogal gelijkmatig uitspreidt over een groter gebied.
Door een gemiddelde waarde over een aantal aanliggende cellen voor en achter de Cell onder Test (CoT), en de gevoeligheid van de ontvanger te verlagen ("raised threshold"), wordt de ruis niet meer waargenomen en wordt op die manier de mogelijke generatie van een "false track" verhinderd. Het is daarbij duidelijk dat voorwerpen met een heel kleine RCS daardoor ook gemaskeerd zullen worden.
Verschillende methodes werden in de loop van de tijd ontwikkeld, om zowel de eigenlijke clutter (of ruis) uit te filteren, maar ook de effecten van de zogenaamde "clutter edge" te beperken. Daartoe worden de aanliggende cellen voor en achter de CoT in twee groepen verdeeld: voor en achter de CoT, echter zonder de CoT zelf. Eventueel worden de direct aanliggende cellen (guard cells) niet in aanmerking genomen.





Het meest eenvoudige algorithme berekent zonder meer een gemiddelde waarde, en heeft behoorlijke eigenschappen voor een uniforme ruisverdeling.



Meer geavanceerde CFAR algorithmes zijn GOCA and SOCA (greatest of smallest over cell average), waarbij het maximum of het minimum van de twee groepen cellen in aanmerking wordt genomen. De volgende figuur schetst het verschil tussen het eenvoudige CA en het geavanceerde GOCA CFAR algorithme.

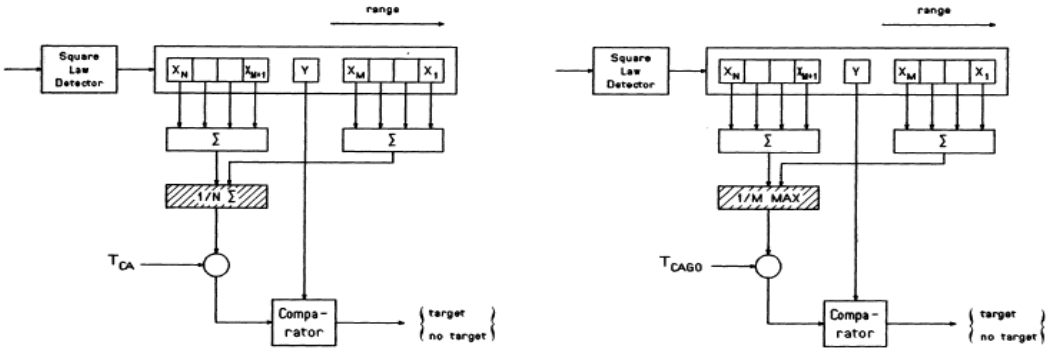
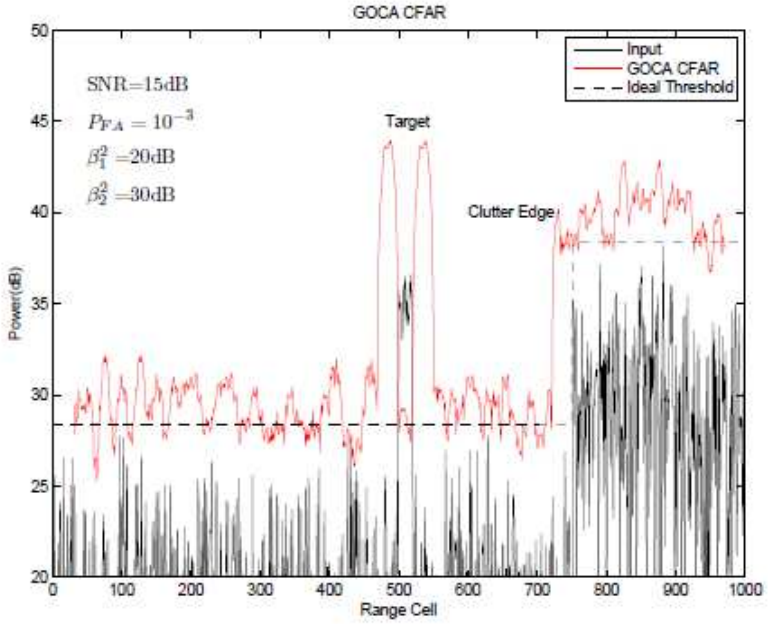
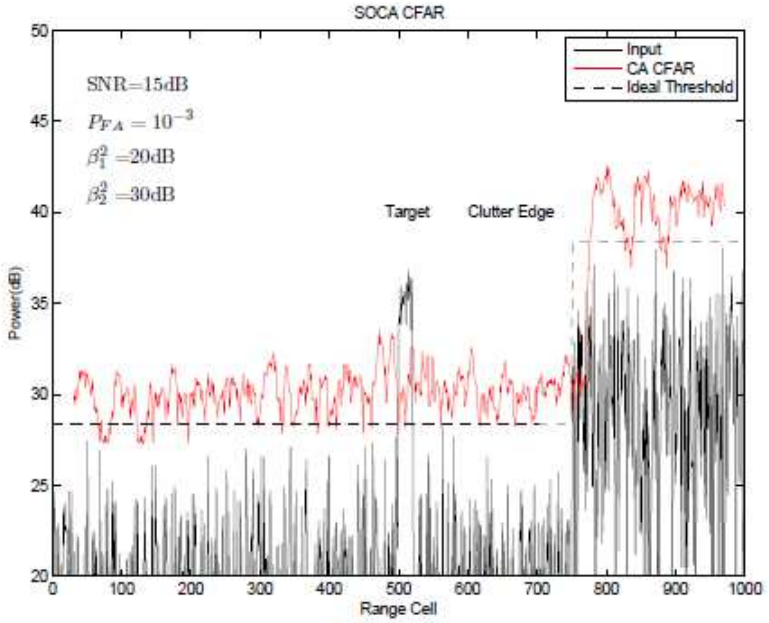
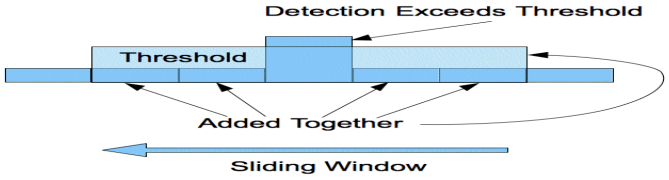


Fig. 2. Comparison of CA and CAGO CFAR procedures.





Uit de voorgaande figuren volgt dat objecten in de aanliggende cellen van de CoT gemaskeerd kunnen worden omwille van de verminderde gevoeligheid. Een object in de CoT cel zelf blijft echter zichtbaar.

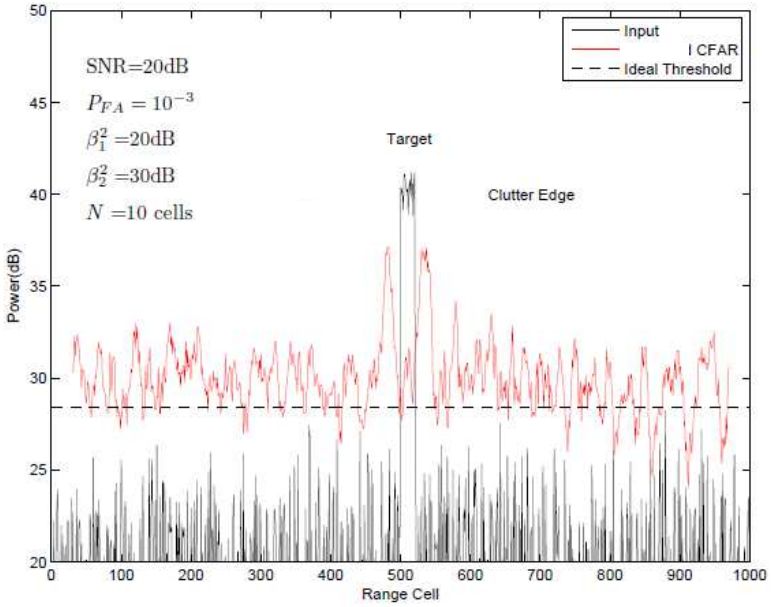


Wanneer een SOCA algorithme wordt toegepast, is er geen invloed van een verminderde gevoeligheid, maar wordt het effect van "clutter edge" wel waargenomen.

De bovenstaande voorbeelden zijn meteen een goed model voor de effecten ten gevolge van windturbines. Een verhoogde clutter simuleert inderdaad de relatief hoge clutter signalen van de windturbines. Het object (target) is dan een overvliegend vliegtuig, en de lage ruis kan gezien worden als de "eigenruis" van de radarinstallatie.

Bij gebruik van GOCA krijgt een grotere zone (Nb cellen) rond de CoT een verminderde gevoeligheid van de radarontvanger (raised threshold). Objecten met een kleinere RCS zullen dus ook niet meer kunnen gedetecteerd worden, wat in een "loss of track" kan resulteren. Bij toepassing van de SOCA versie wordt blijft de oorspronkelijke gevoeligheid ingesteld, maar kan het effect van "clutter edge" aanleiding geven tot het starten van een "false track".

Het is dus duidelijk dat een optimale oplossing erin zou bestaan om het clutter signal zelf te reduceren, zodat er een meer uniforme verdeling van het ruisniveau bekomen wordt. Het principe is geschetst in de volgende figuur:

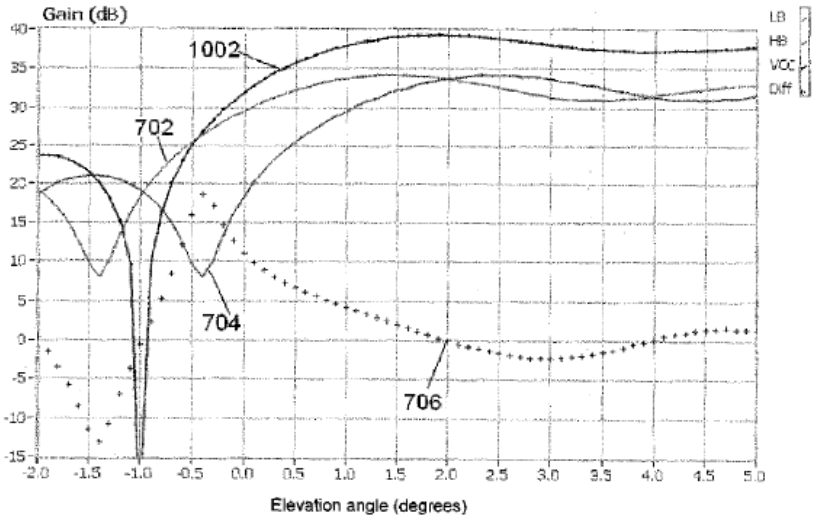


Reductie van het clutter effect zelf kan bekomen worden door toepassing van het stealth principe op de rotor van de windturbine. Proeven met radarabsorberende materialen hebben uitgewezen dat ten hoogste een vermindering van de clutter met 10 dB mag verwacht worden. Dit is onvoldoende om het clutter effect volledig weg te werken. Een methode waarbij door post signal processing een "null" in het antenne patroon wordt verkregen is beschreven in het patent "WO 2010/037770 – ***Clutter reduction in detection systems***" en zou een reductie met 20 – 30 dB opleveren. Bovendien heeft deze methode het voordeel dat de "null" in het antenne patroon enkel voorkomt op de nuttige elevatie van de windturbines, waarbij vliegtuigen op grotere hoogte in de waarnemingscel onveranderd zichtbaar blijven.

Annex 3. Clutter reduction WO 2010/037770 – VCC algorithm

De beschrijving van de technologie in de patentaanvraag door Intersoft "WO 2010/037770 – ***Clutter reduction in detection systems***" laat toe om te besluiten dat het maskerend effect van clutter ten gevolge van de variërende RCS van windturbines, nagenoeg volledig kan weggewerkt worden, of op zijn minst gereduceerd tot een fenomeen dat niet meer storend is.

Door het combineren van één of meerdere bundels (bij een typische 2D radar, de **L**ow **B**eam en de **H**igh **B**eam), kan een nieuw stralingspatroon gevormd worden. In wezen is dit het basisprincipe van een phased array antenna. Door dit principe niet direct toe te passen op de ontvangen HF signalen, maar later in de signal processing, kan dit per elke waarnemingscel afzonderlijk uitgevoerd worden. In de volgende figuur (genomen uit het betreffende patent) geven de curven 702 en 704 de typische LB en HB stralingspatronen, en toont curve 1002 een aangepast stralingspatroon, waarbij voor een bepaalde elevatie een notch ontstaat.



Referentie: patentaanvraag WO/2010/037770

Hierdoor wordt een object in die bepaalde waarnemingscel met een virtueel lagere RCS waargenomen, zonder dat daarbij de karakteristieken van de andere cellen in dezelfde lijn veranderd worden. Of met andere woorden, enkel in de geprogrammeerde cellen wordt de karakteristiek van de radar gewijzigd.

Omdat de response van de waarnemingscel, waarin de windturbine zich bevindt, met een minimum van 20 dB wordt gereduceerd, wordt ook de invloed ervan in het CFAR algorithme geminimaliseerd. Hierbij dient dus opgemerkt te worden dat deze vermindering slechts optreedt in een elevatie ter hoogte van de windturbines, maar niet voor hogere elevatiehoeken van dezelfde waarnemingscel, zoals in bovenstaand stralingspatroon kan gezien worden.
Dit houdt ook in dat de kans op een maskering van een vliegtuig met een RCS kleiner dan de RCS van een windturbine wordt geminimaliseerd.

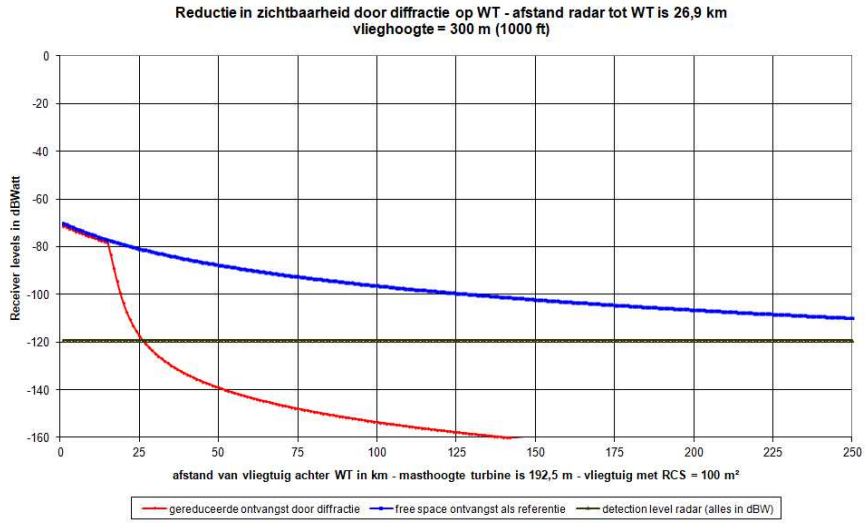
Naast de mogelijke kortstondige maskeringen van zeer kleine vliegtuigen, is er nog de clutter die ontstaat door de steeds wisselende reflecties van de bewegende onderdelen van de windturbines. Uiteraard wordt hieraan niets gewijzigd door een verandering van het stralingspatroon van de radarantenne.

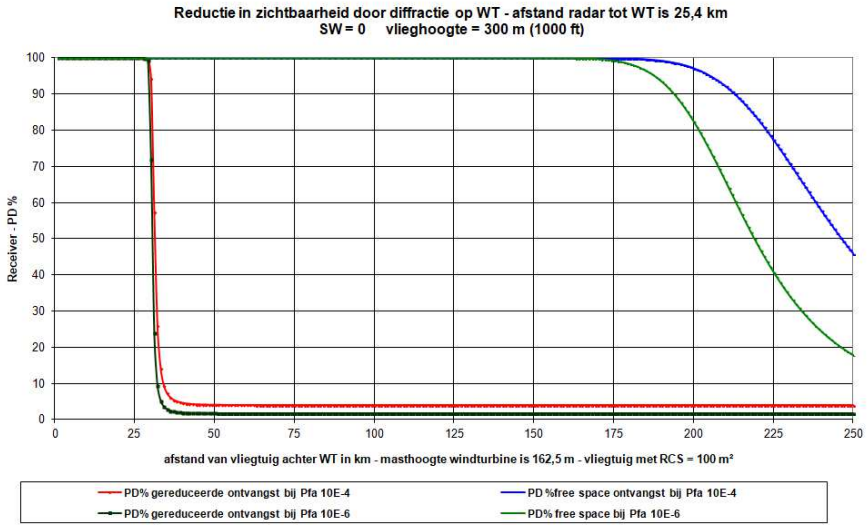
Hierbij moet wel opgemerkt worden dat deze resultaten volledig afhangen van een zeer nauwkeurige instelling van het "virtuele VCC^{+} NGSP stralingspatroon van de radarantenne", waarbij dus een voldoende notch effect dient gecreëerd te worden op de elevatiehoogte van de windturbine.

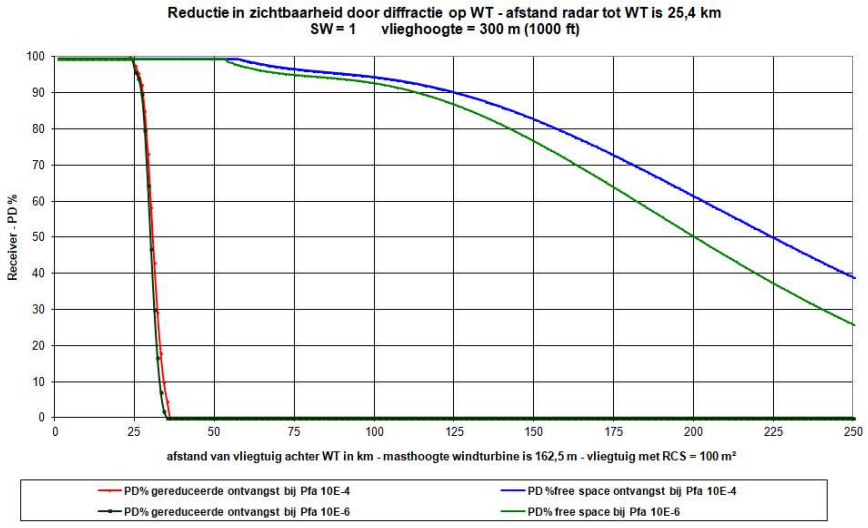
Annex 4. Verminderde zichtbaarheid bij RCS = 100 m², 10 m² en 1 m²

Project "Stukwerkers" Kluizendok haven Gent – 25,4 km

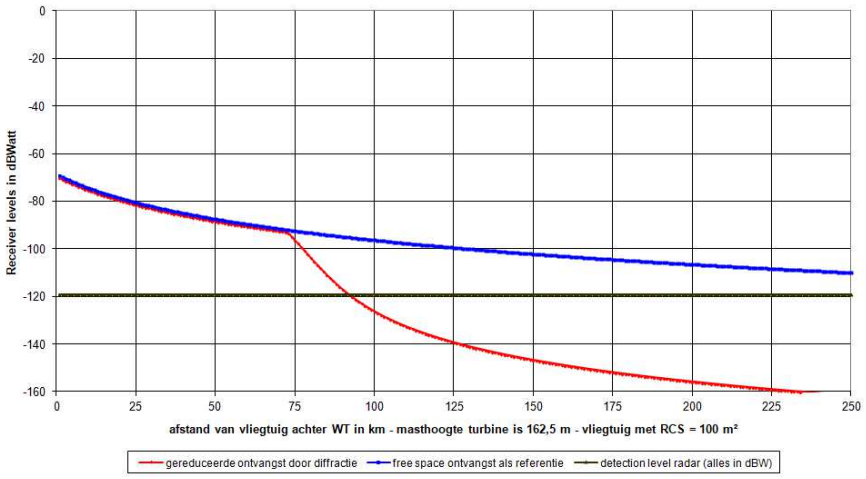
Masthoogte 162,5 m – RCS 100 m²



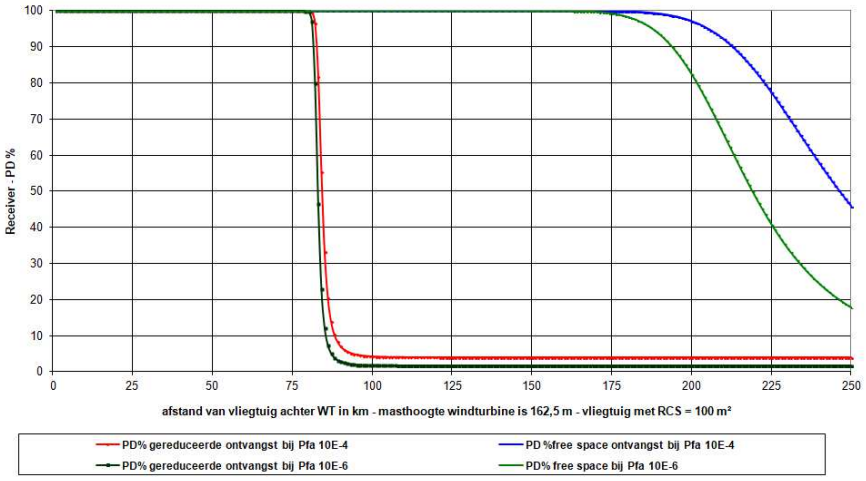




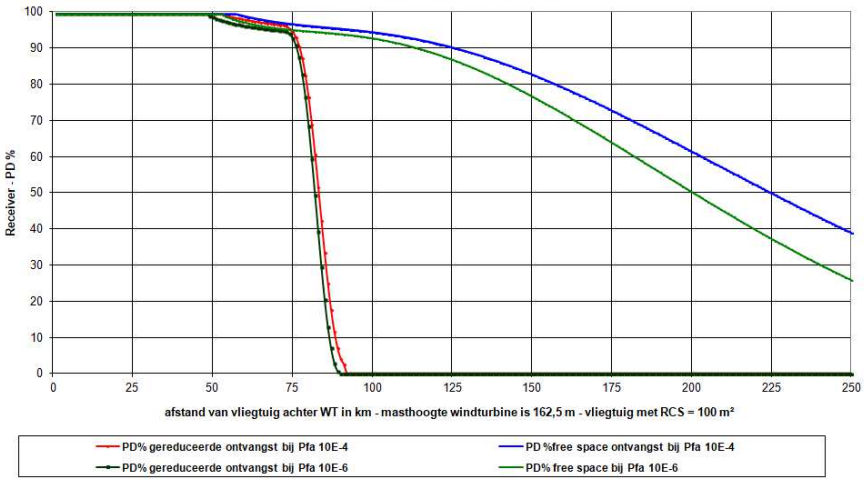
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

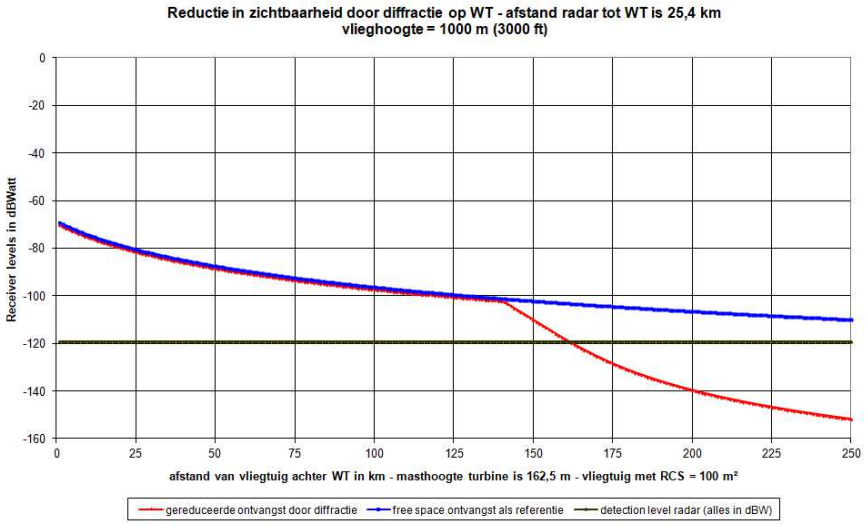


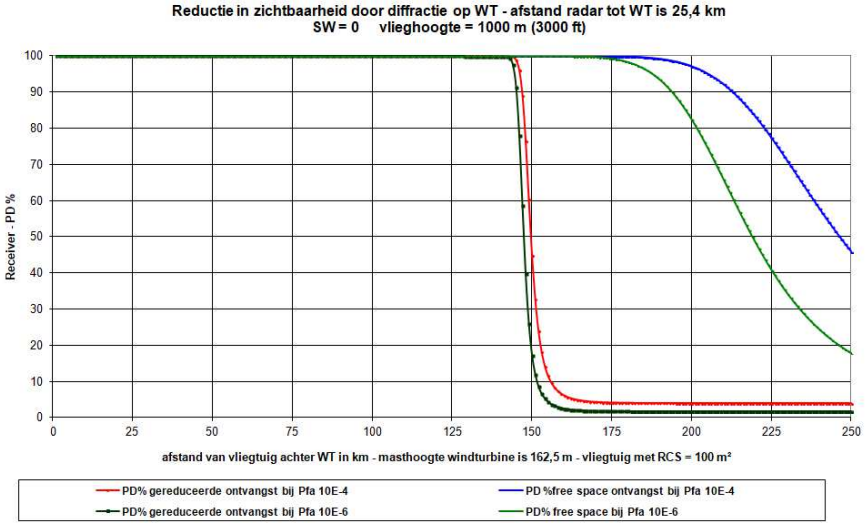
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

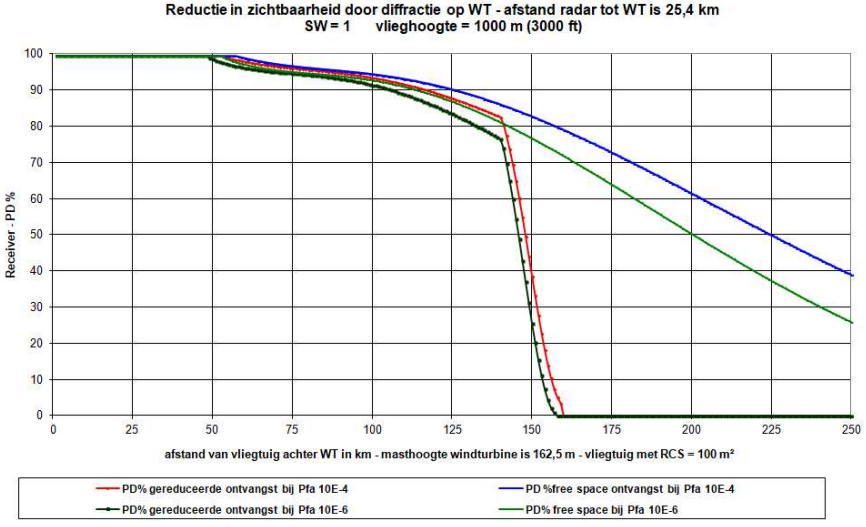


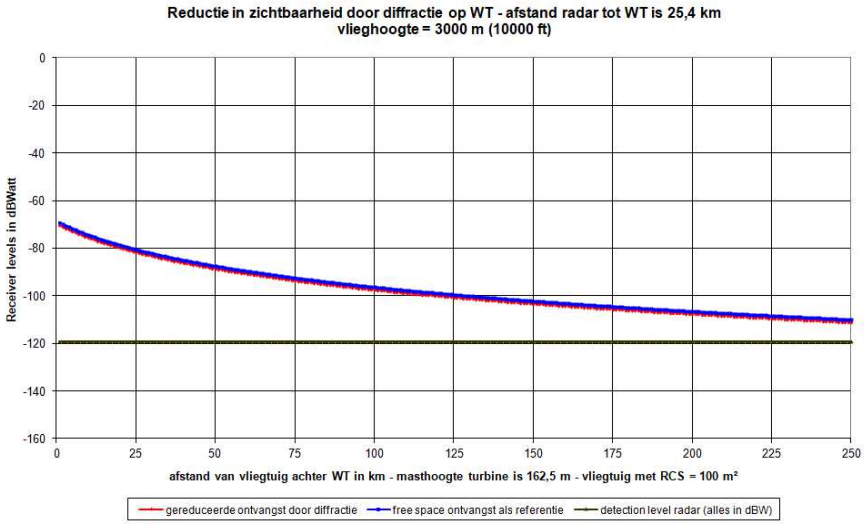
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

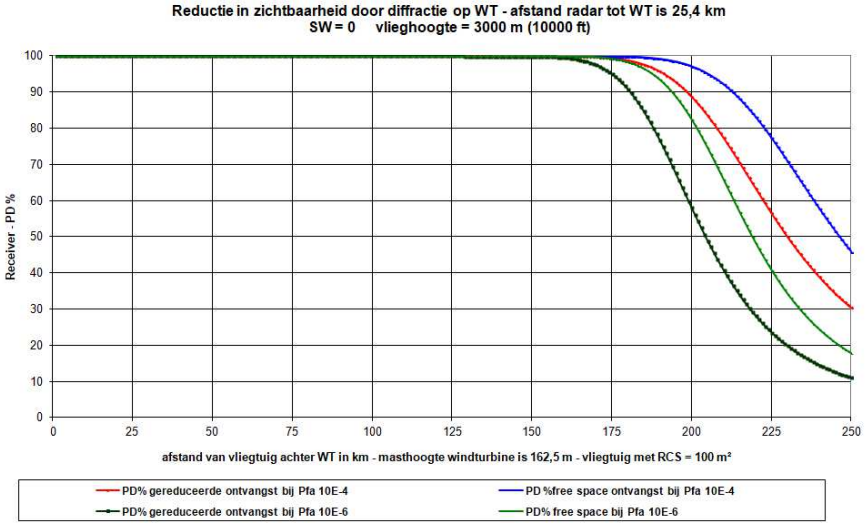


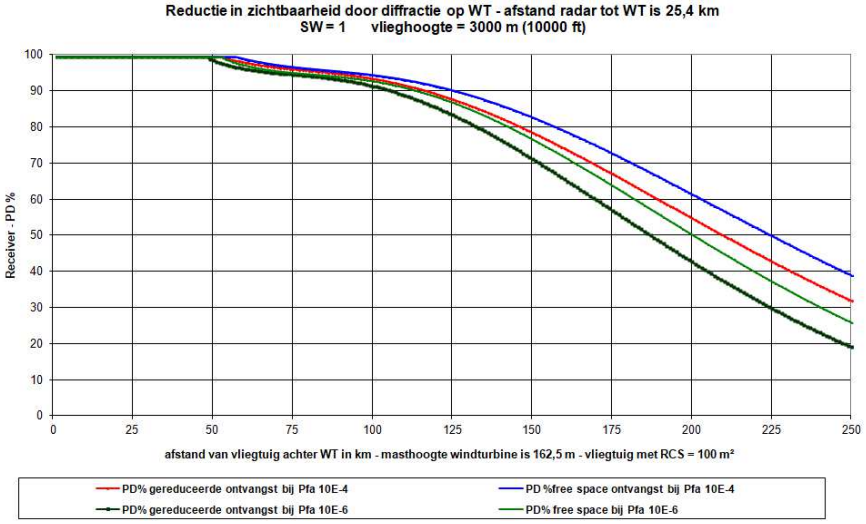

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

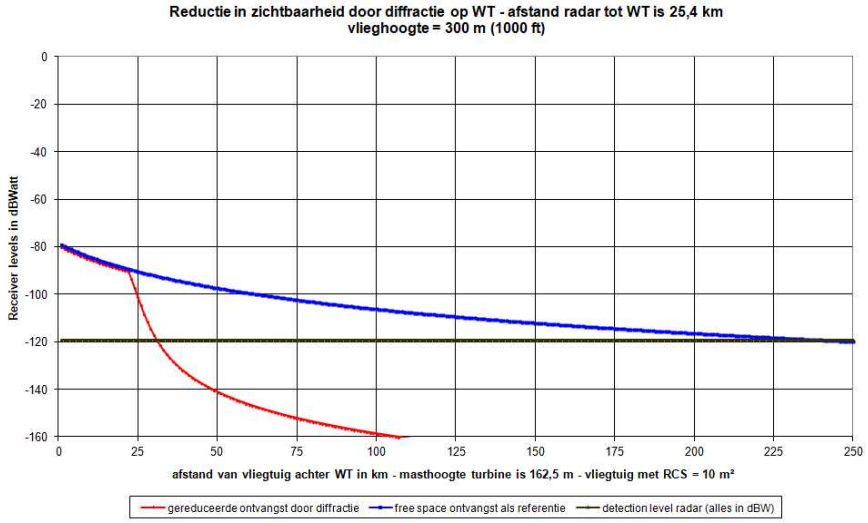

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

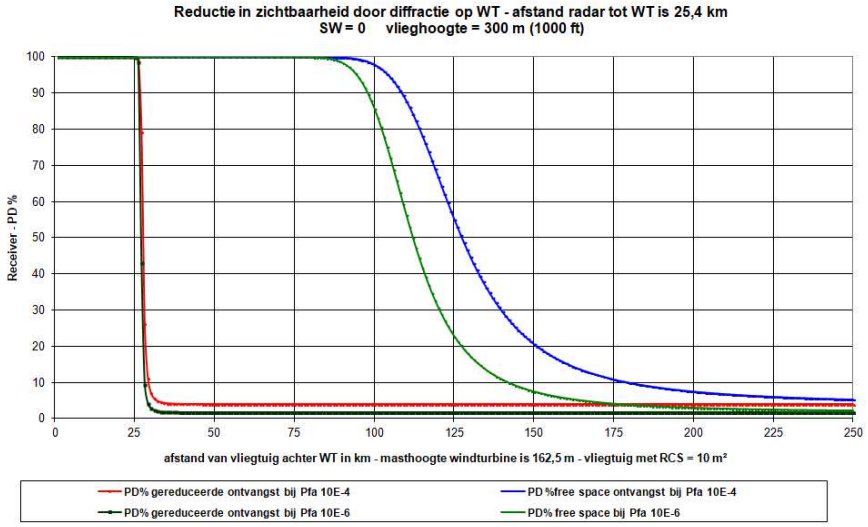

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

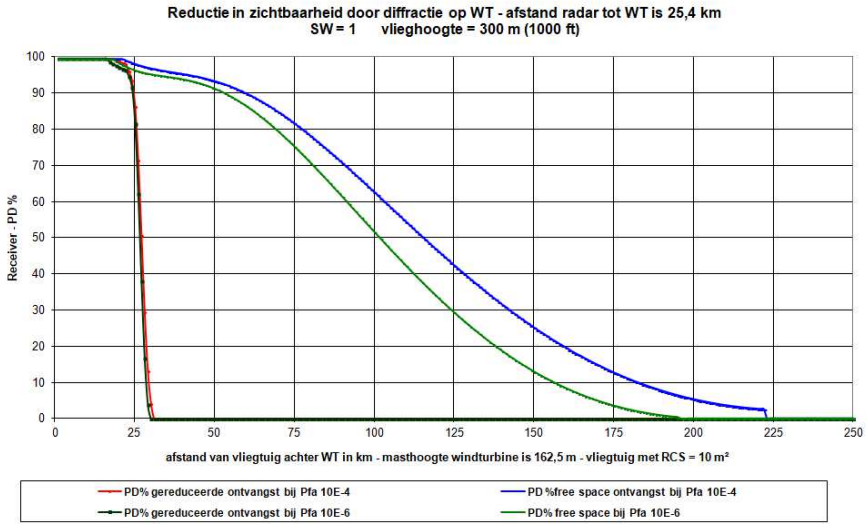

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

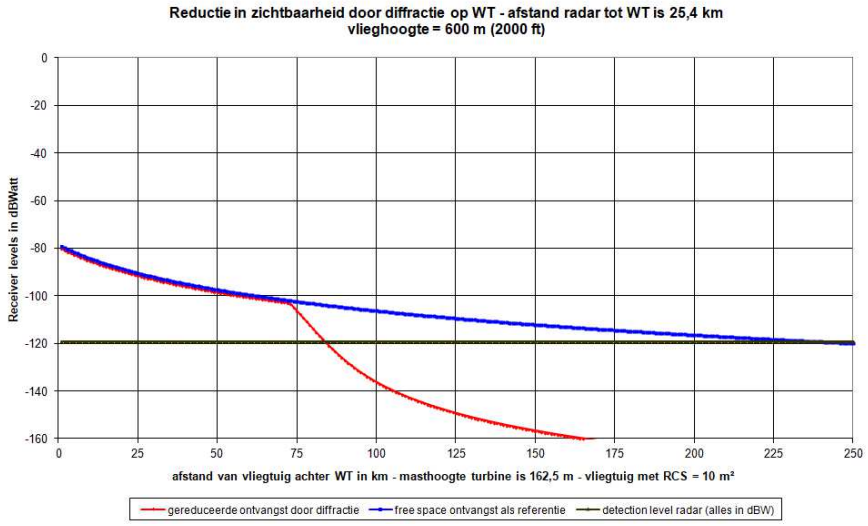

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

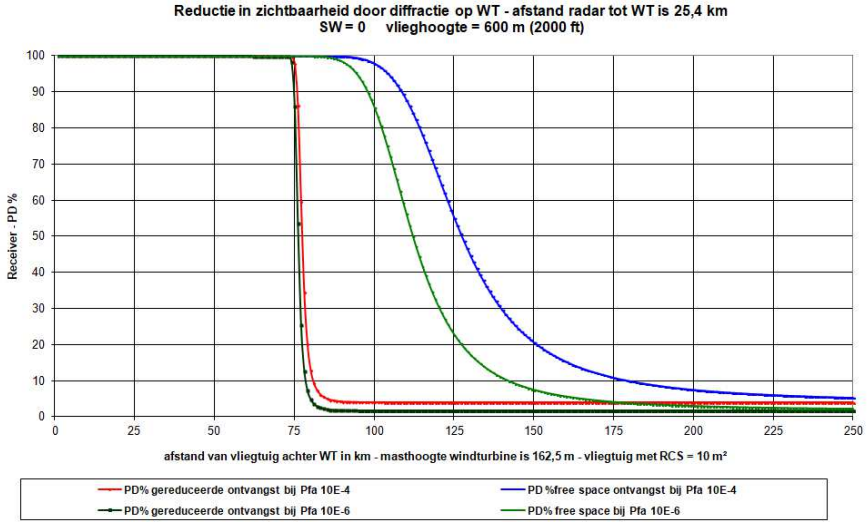
Masthoogte 162,5 m – RCS 10 m²

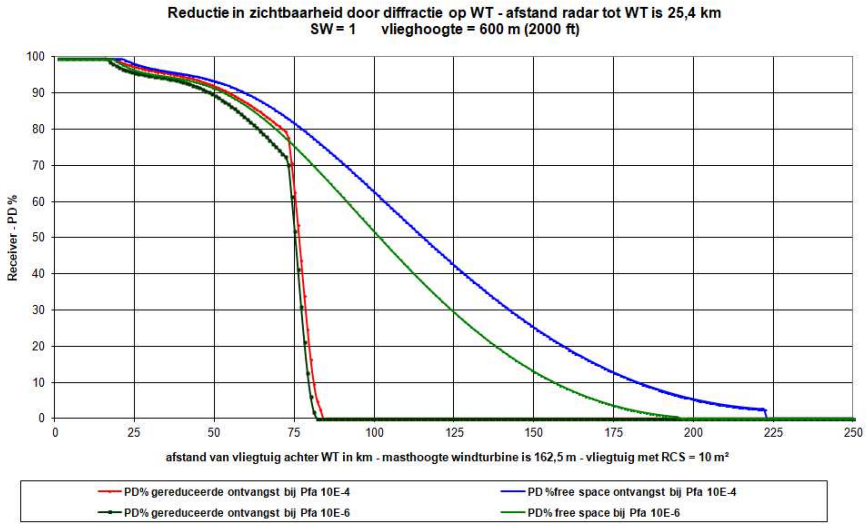


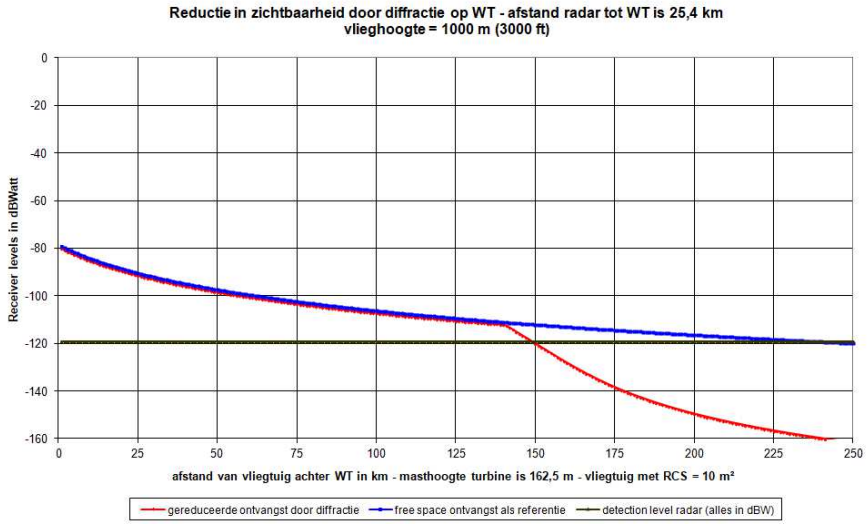


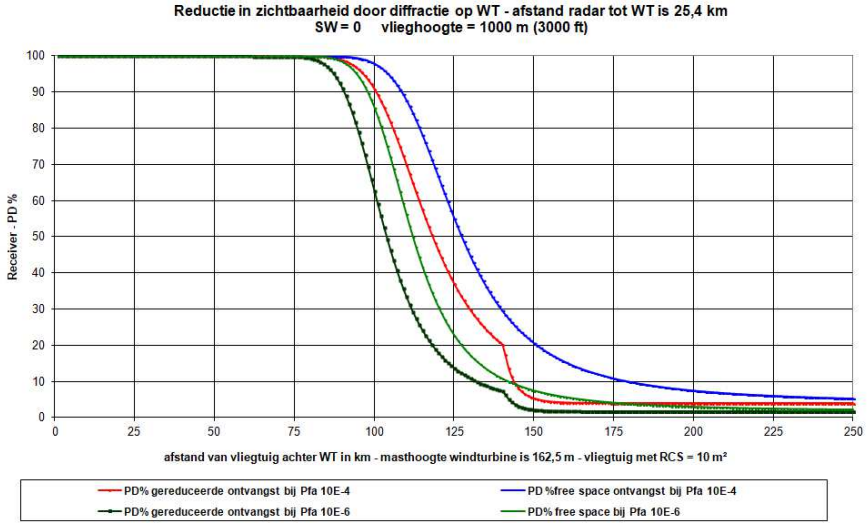


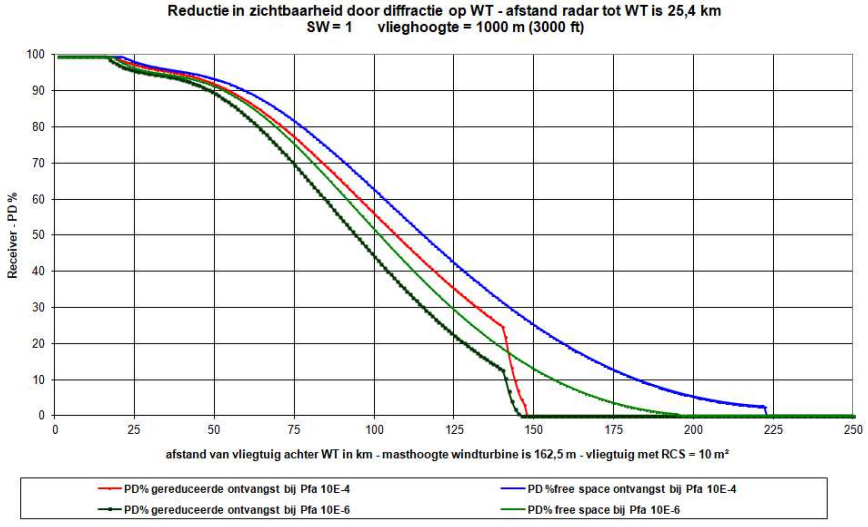

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

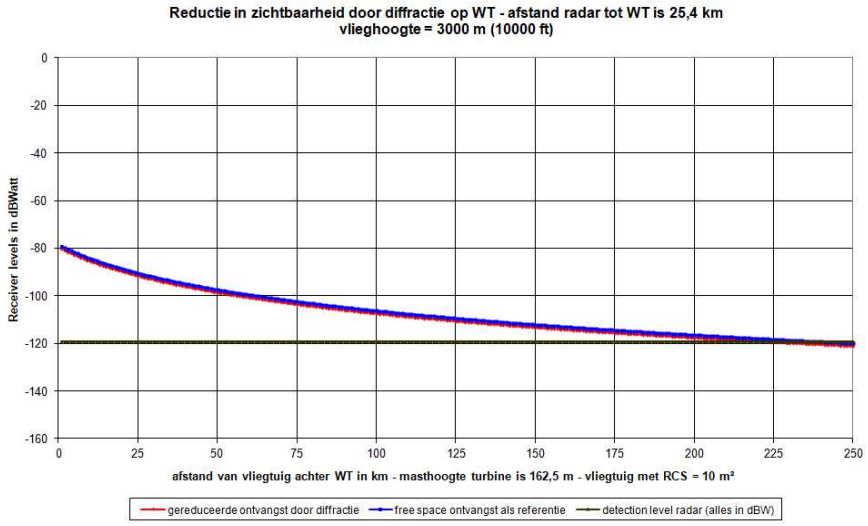

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

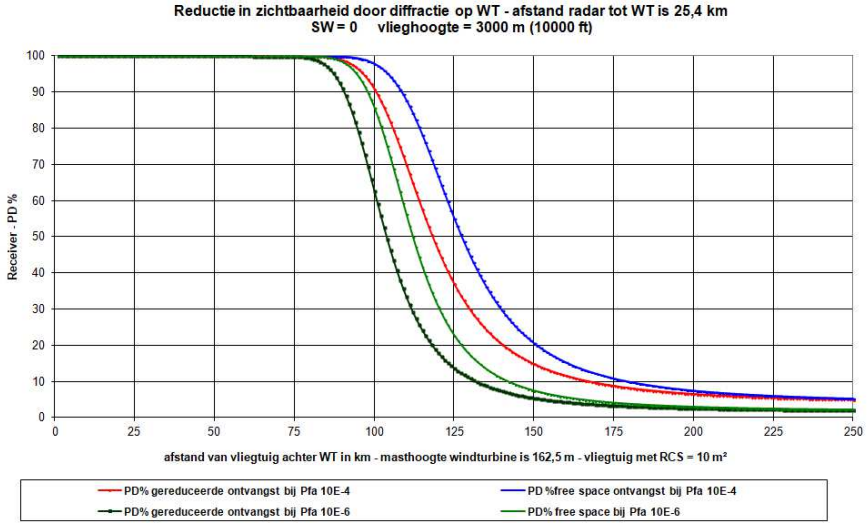

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

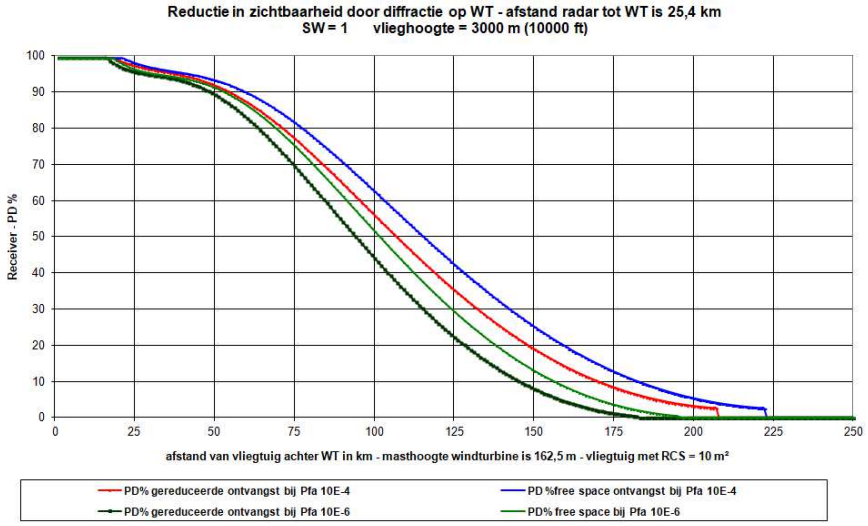

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

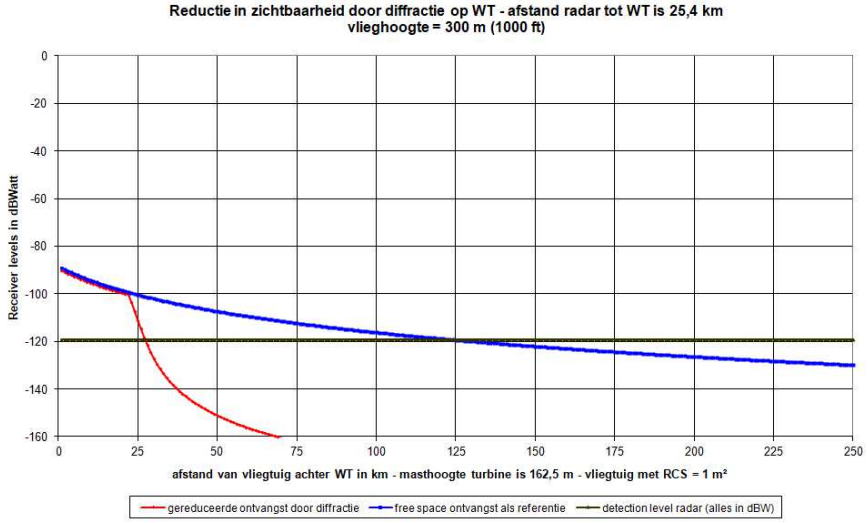

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

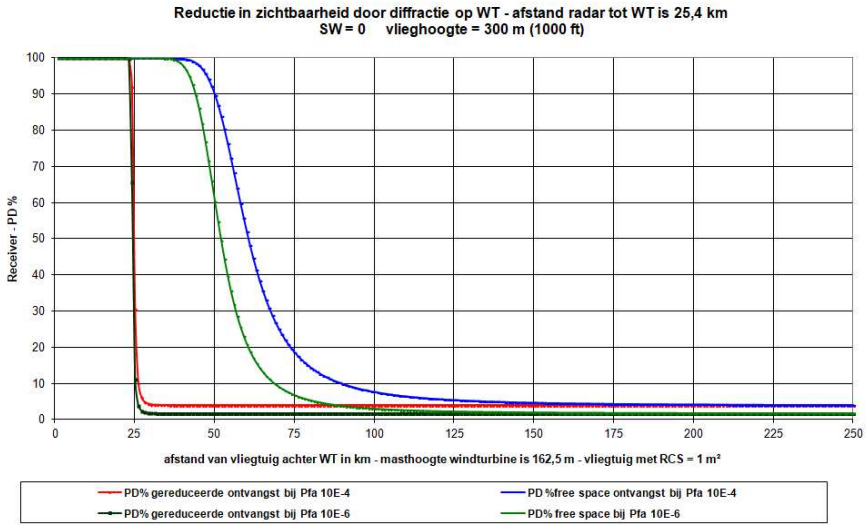

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

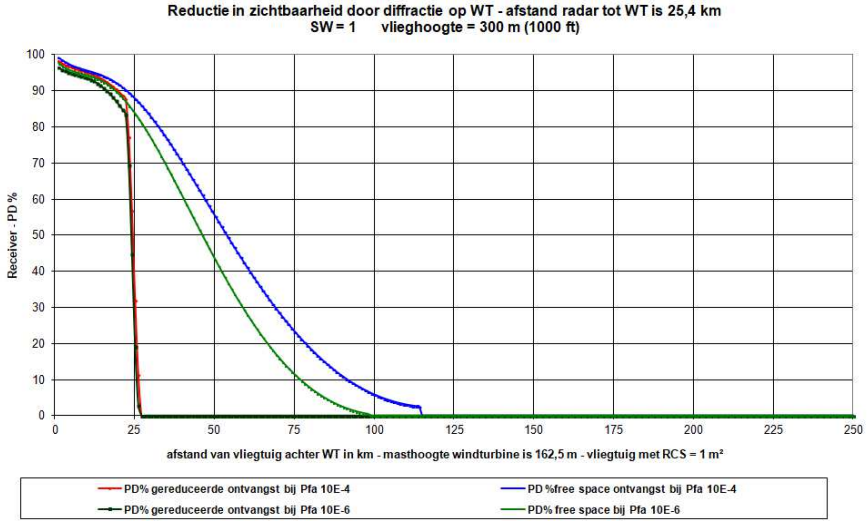

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

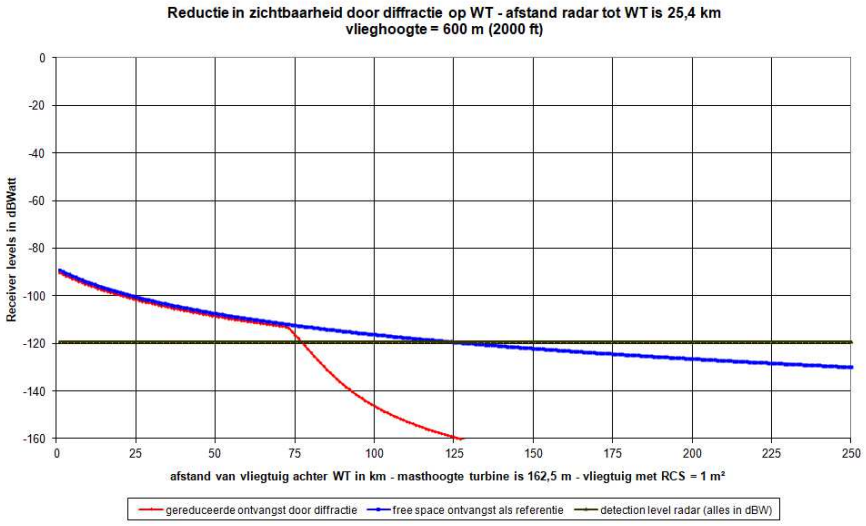

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

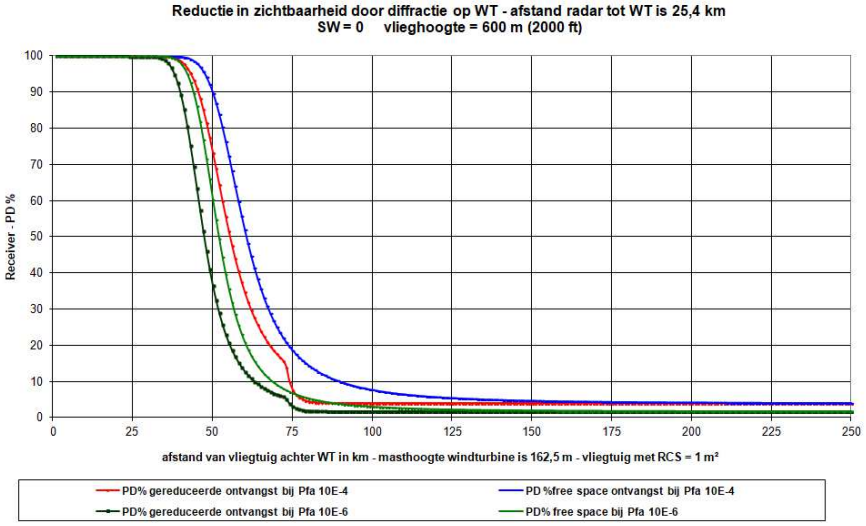
Masthoogte 162,5 m – RCS 1 m²

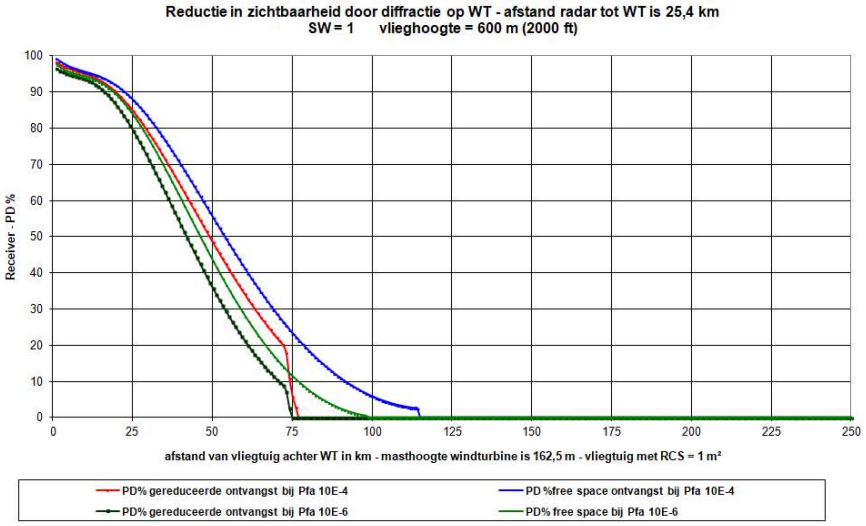


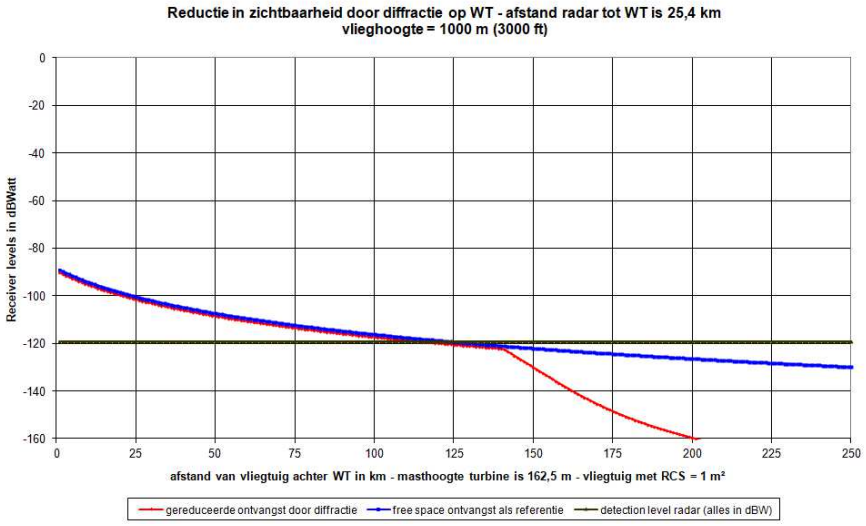


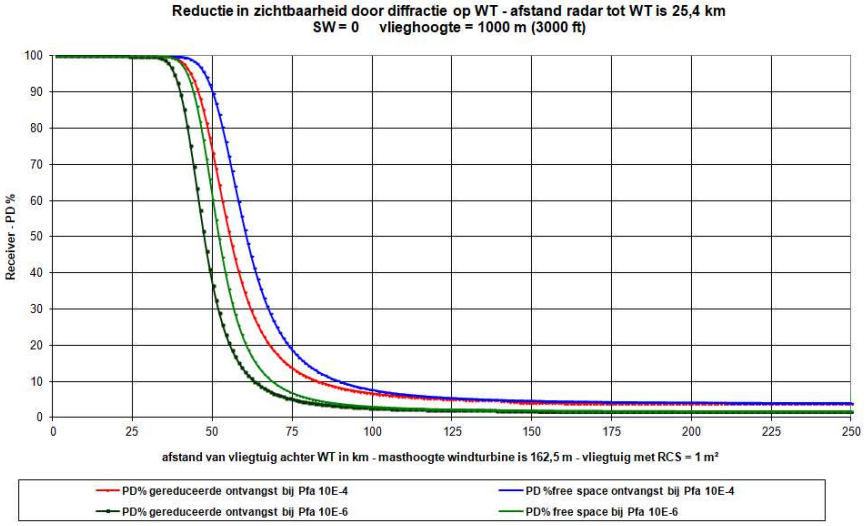


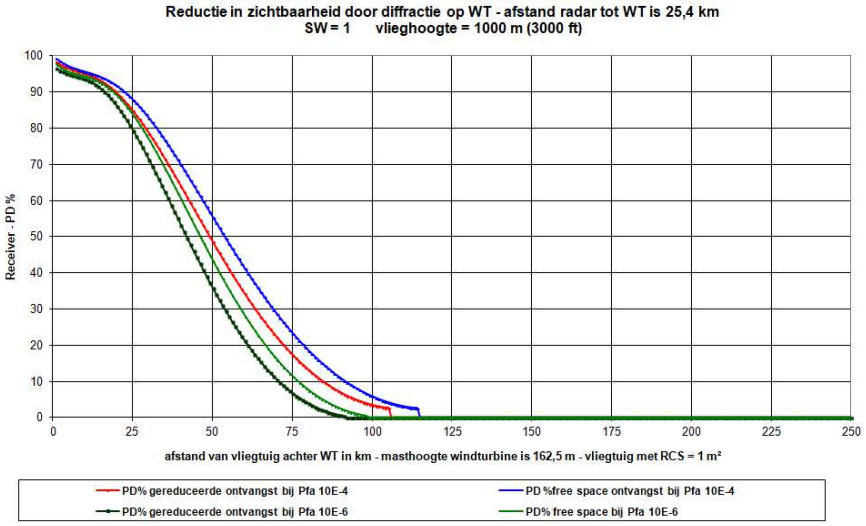

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

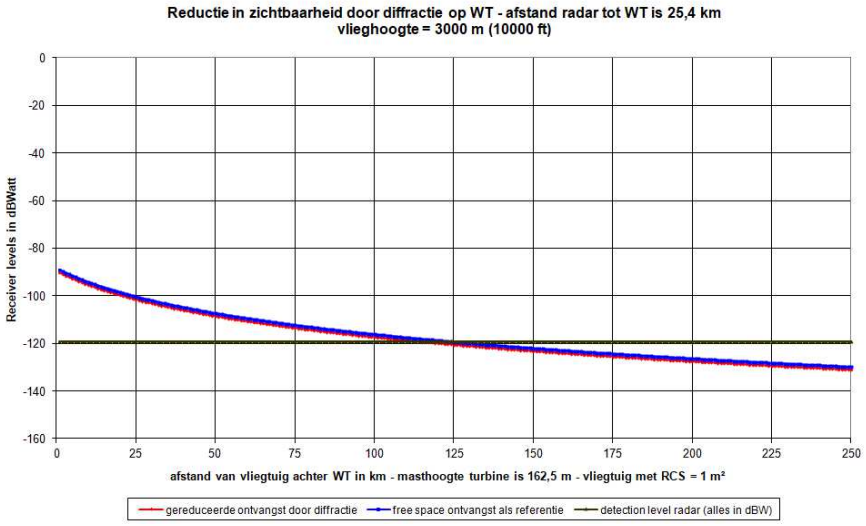

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

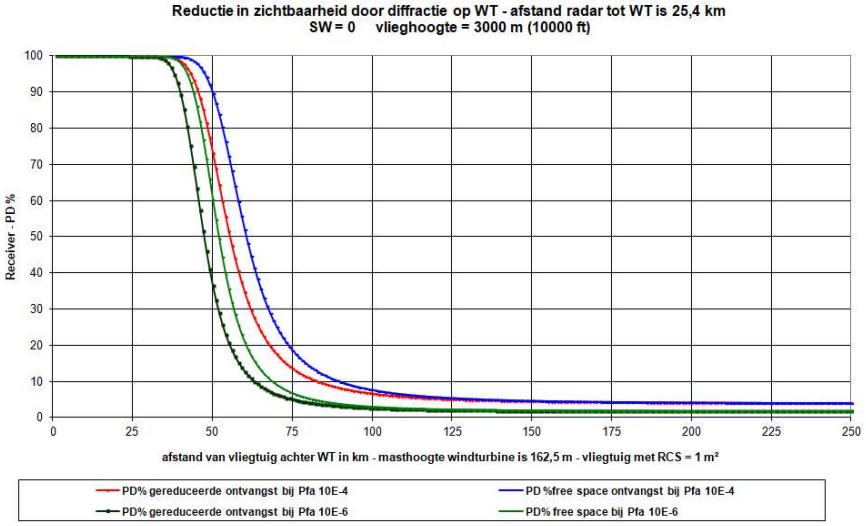

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

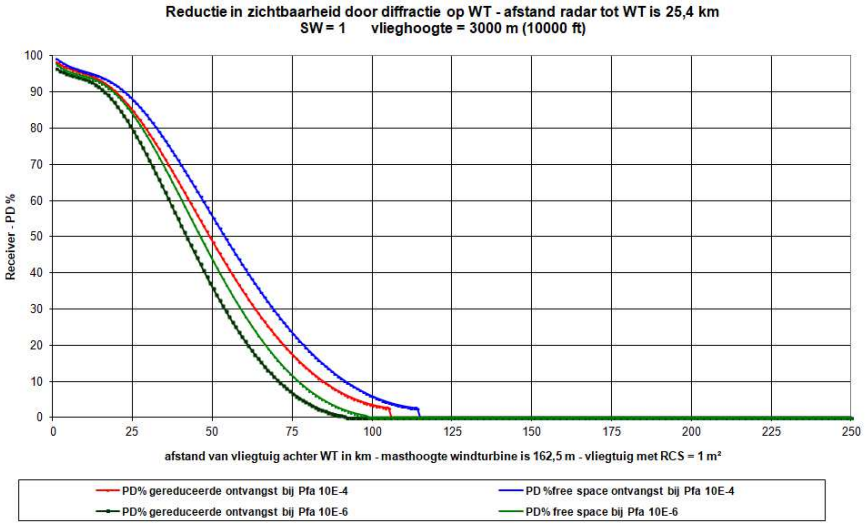

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

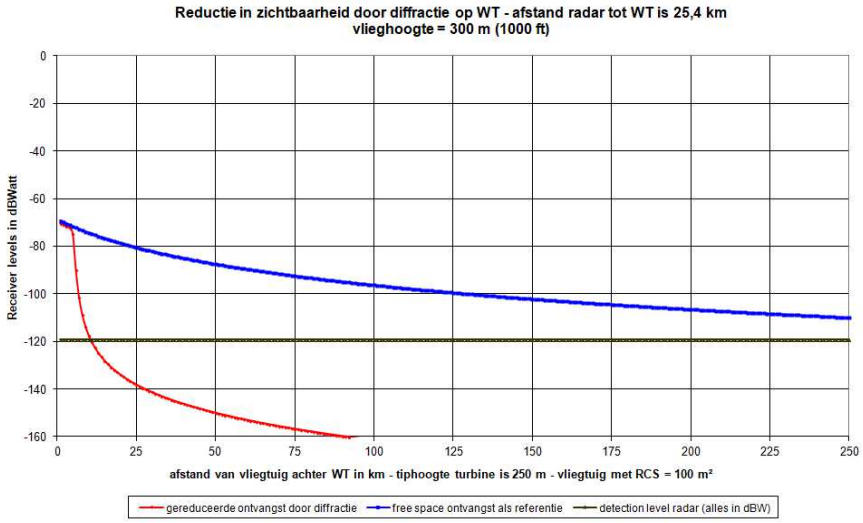

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

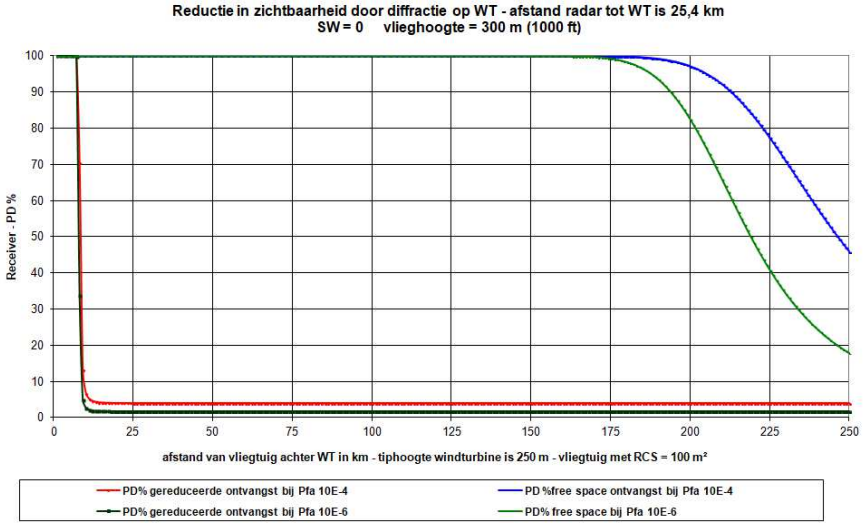

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

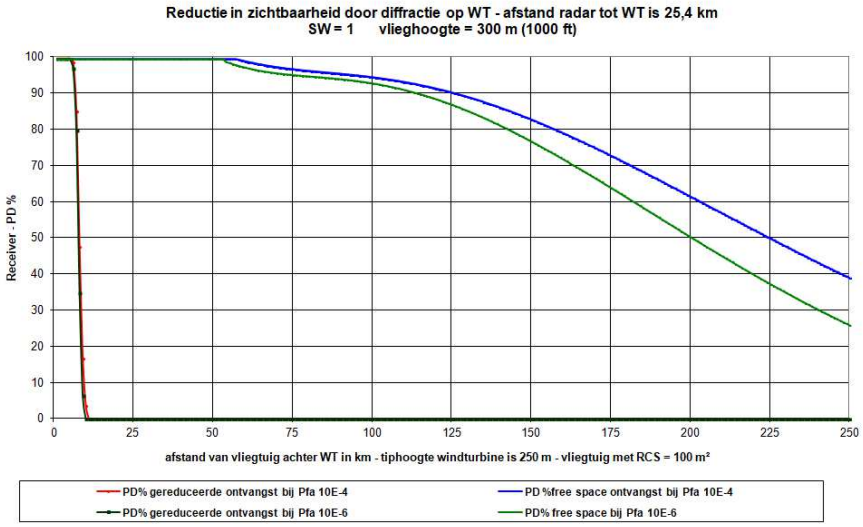

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

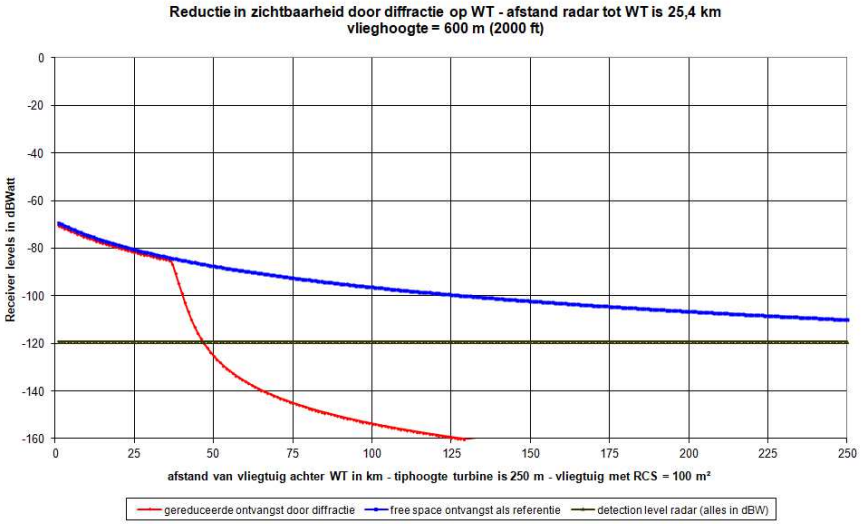

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 162,5 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

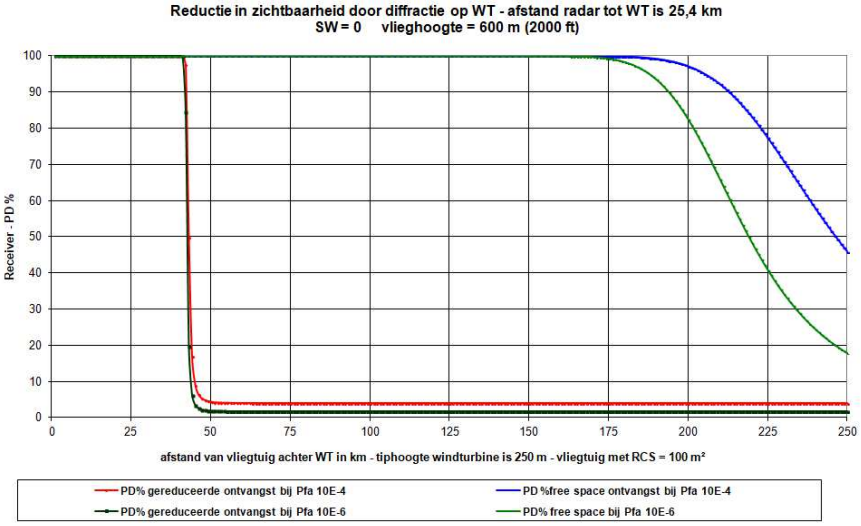
Tiphoogte WT 250 m – RCS 100 m²

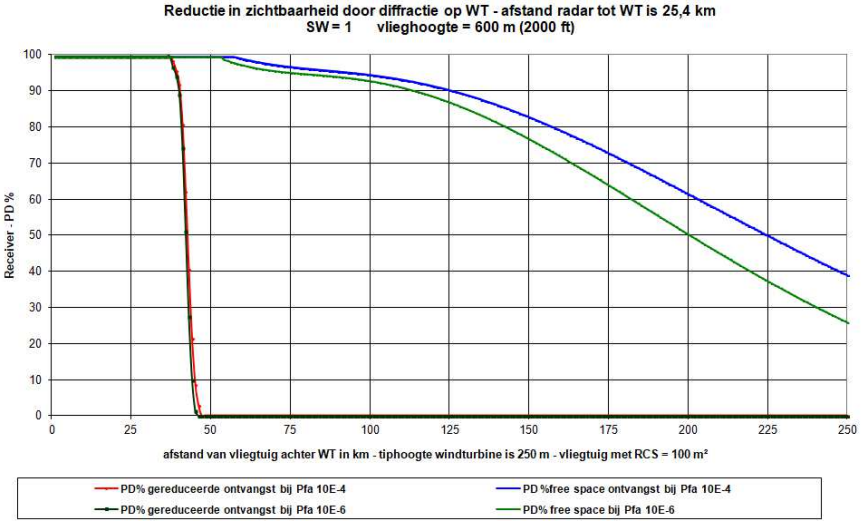


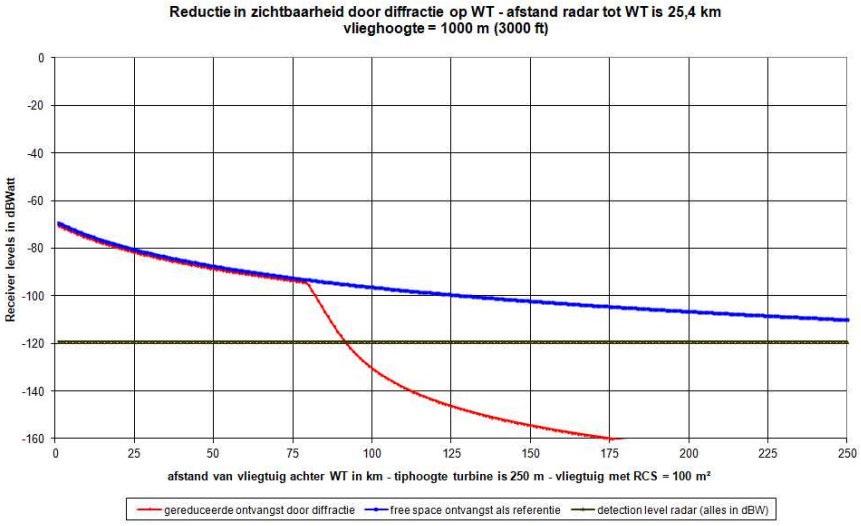


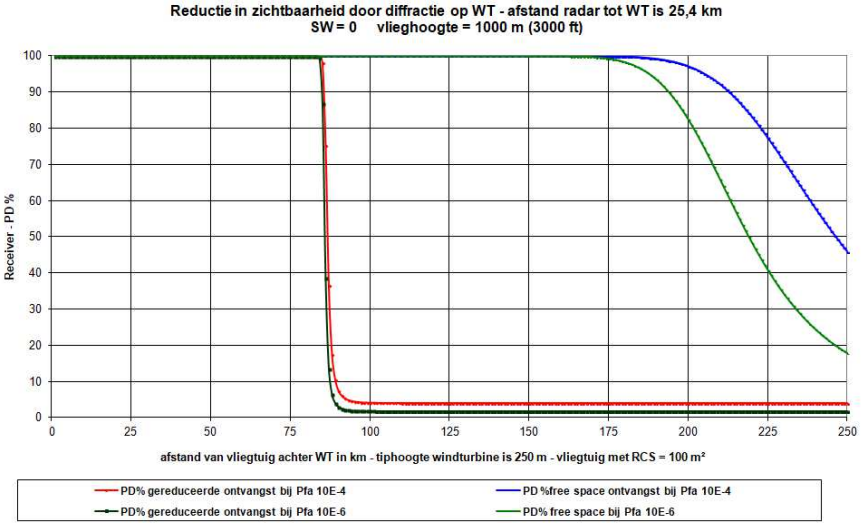


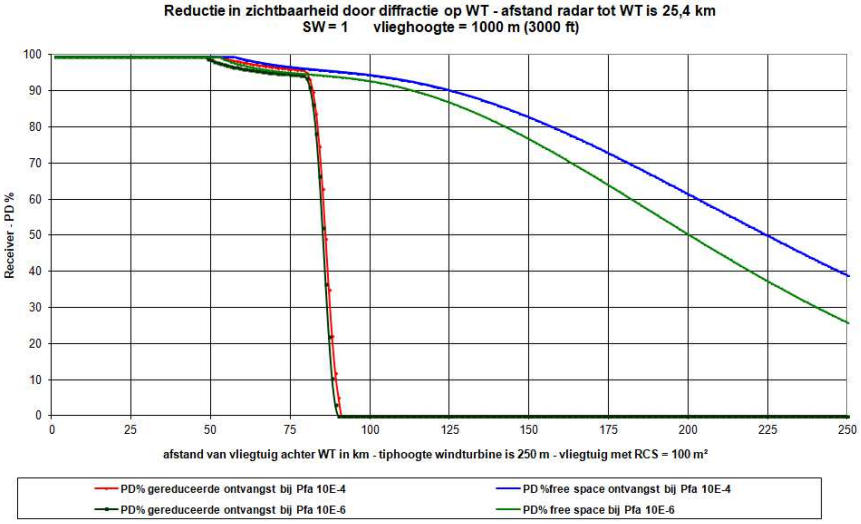

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

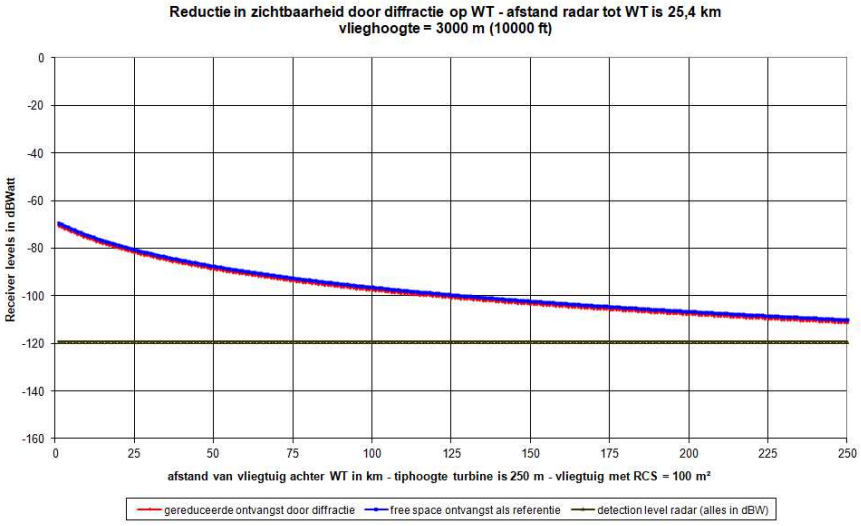

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

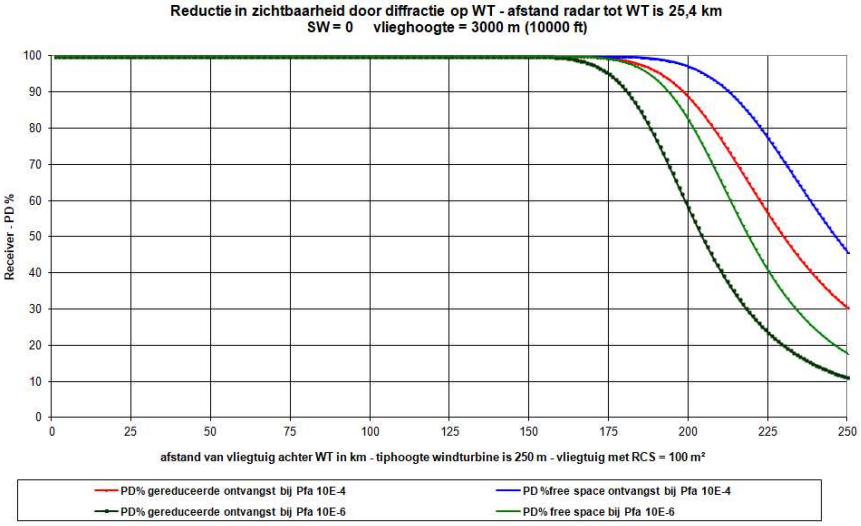

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

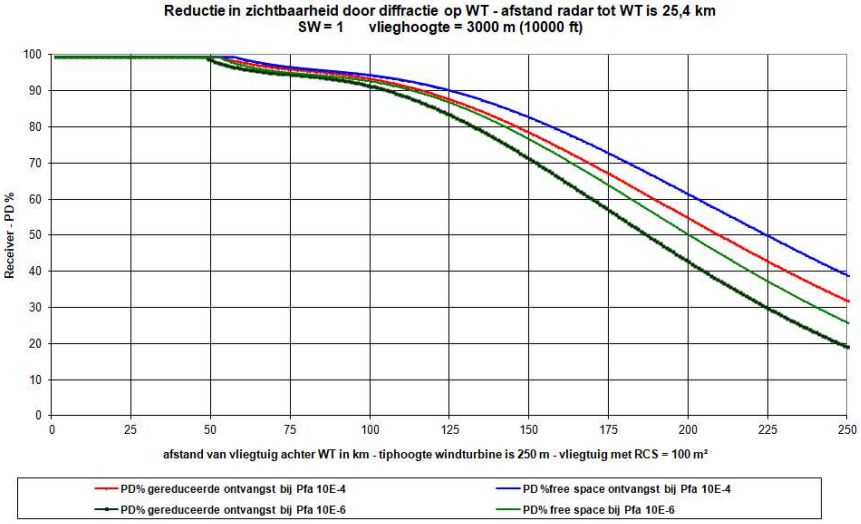

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

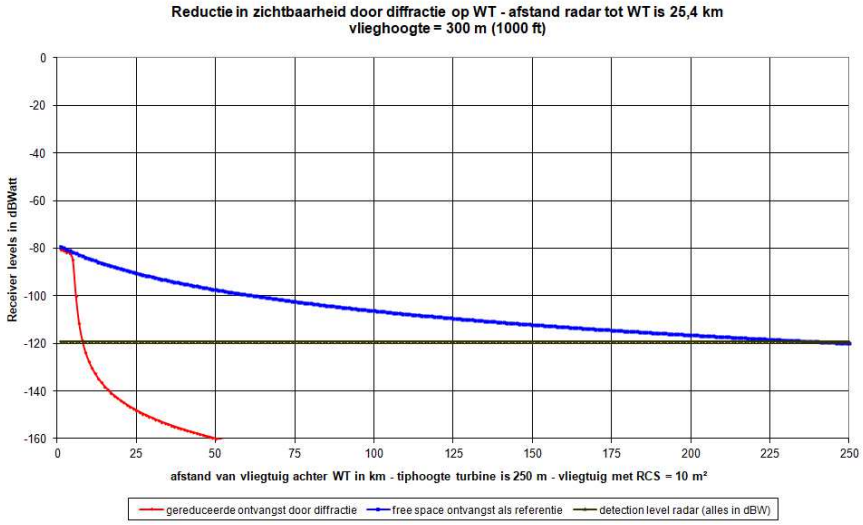

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

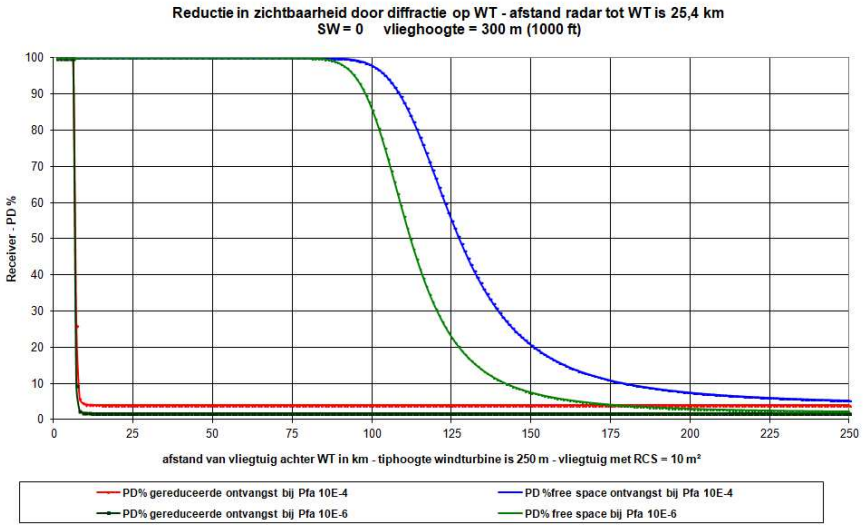

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

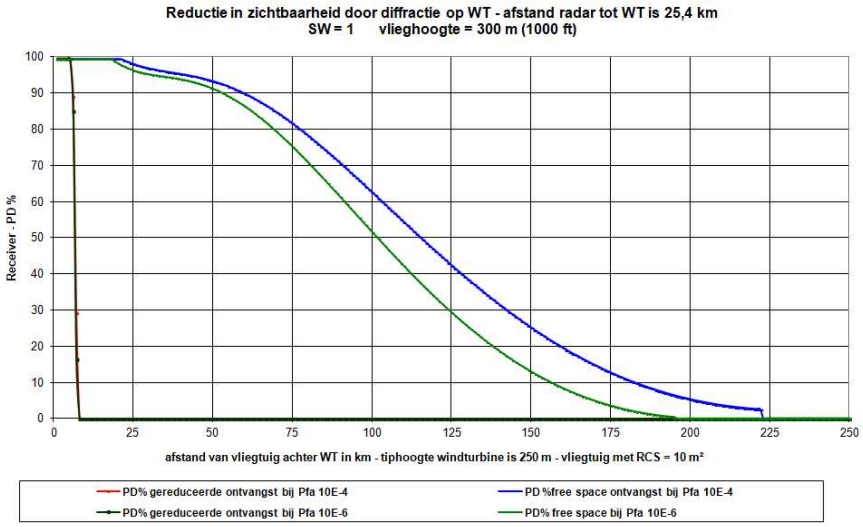

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

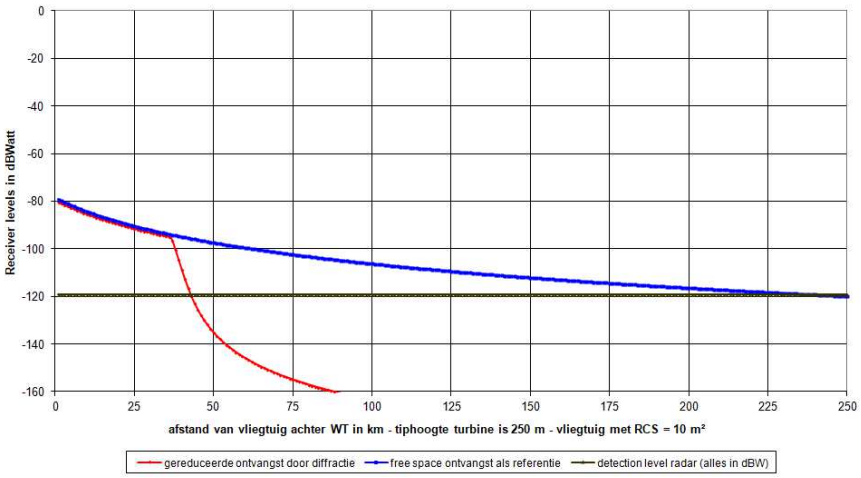
Tiphoogte WT 250 m – RCS 10 m²



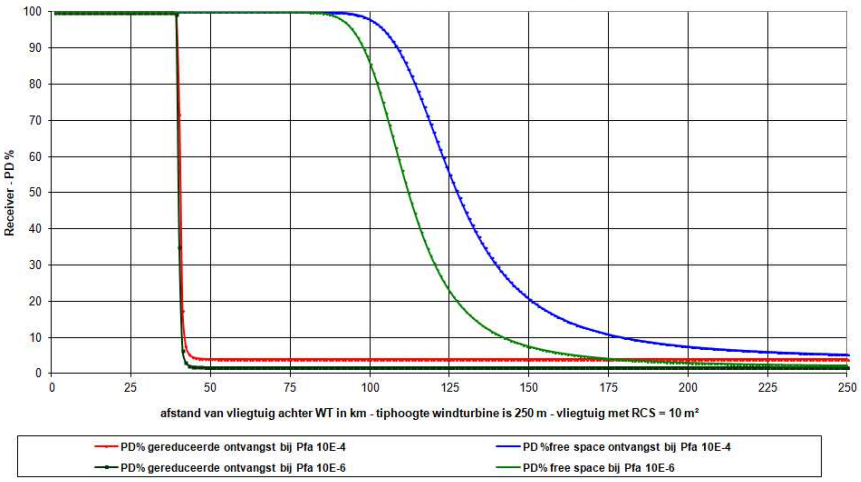




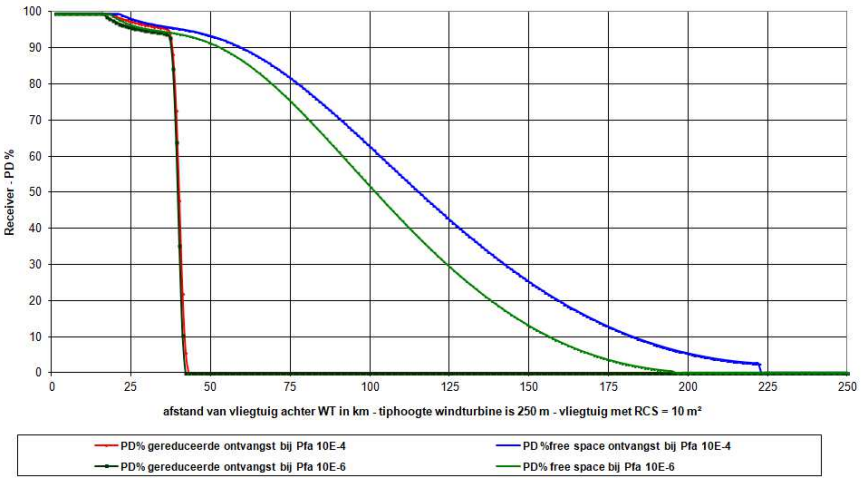
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

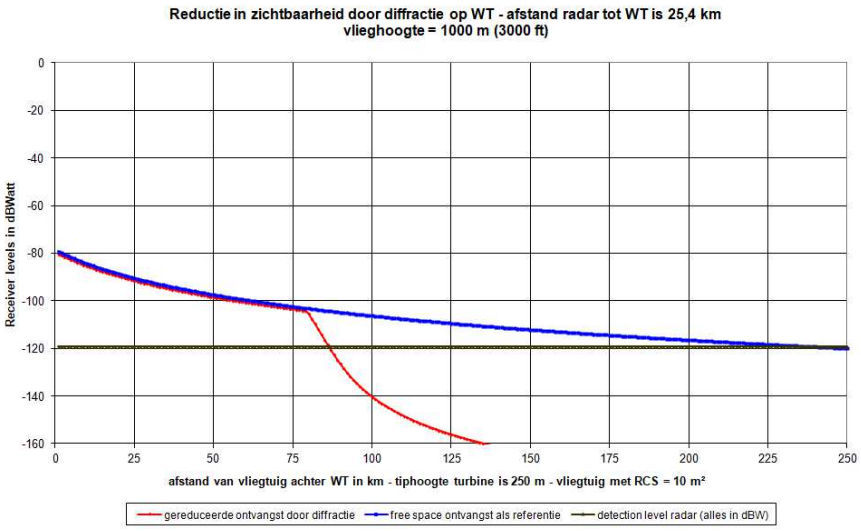


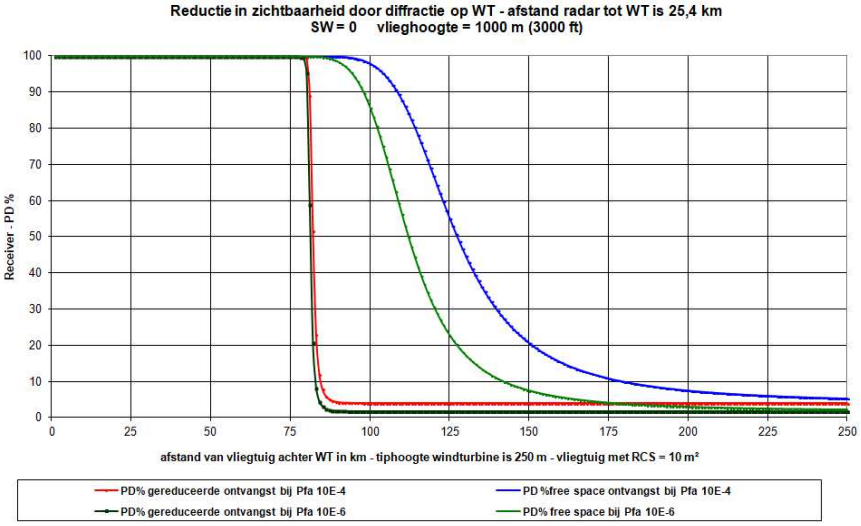
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

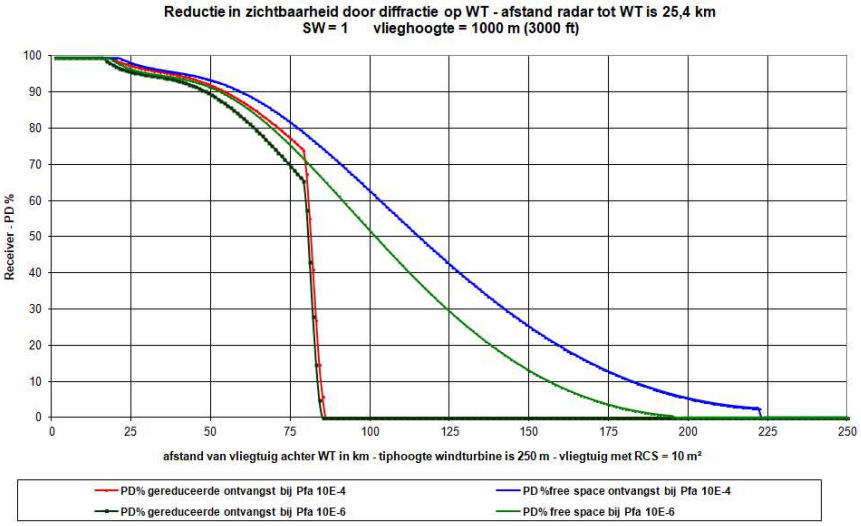


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

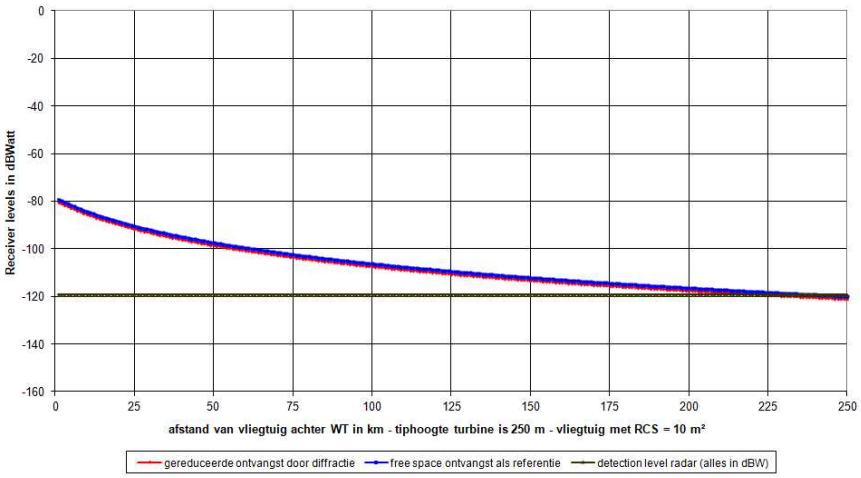



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

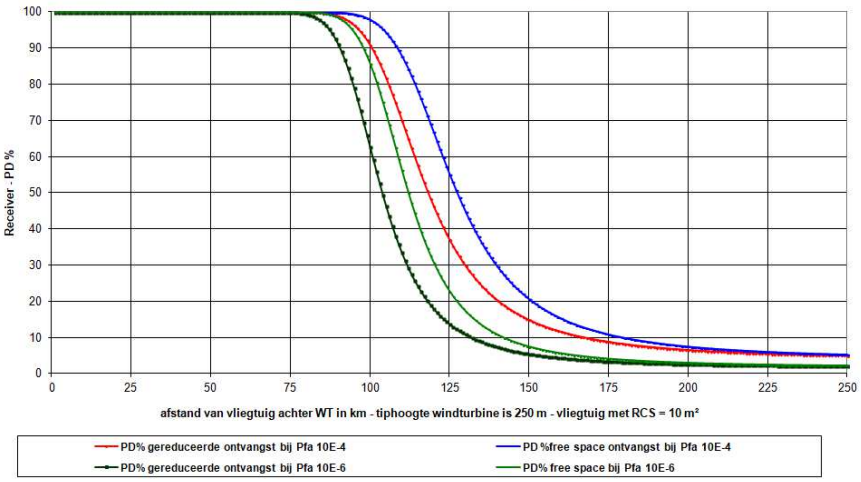

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

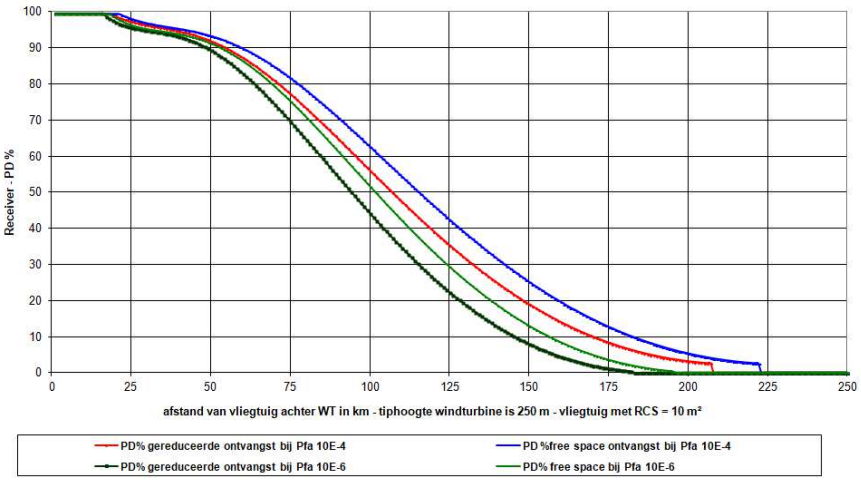
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



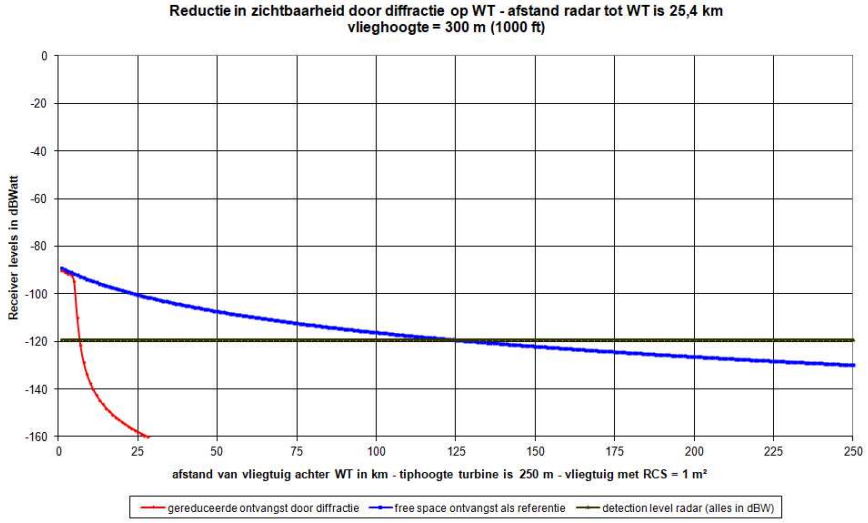
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

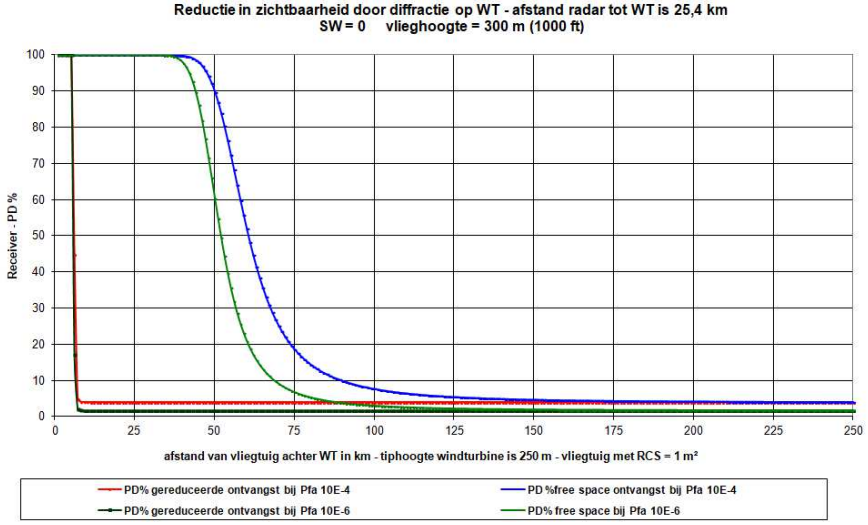


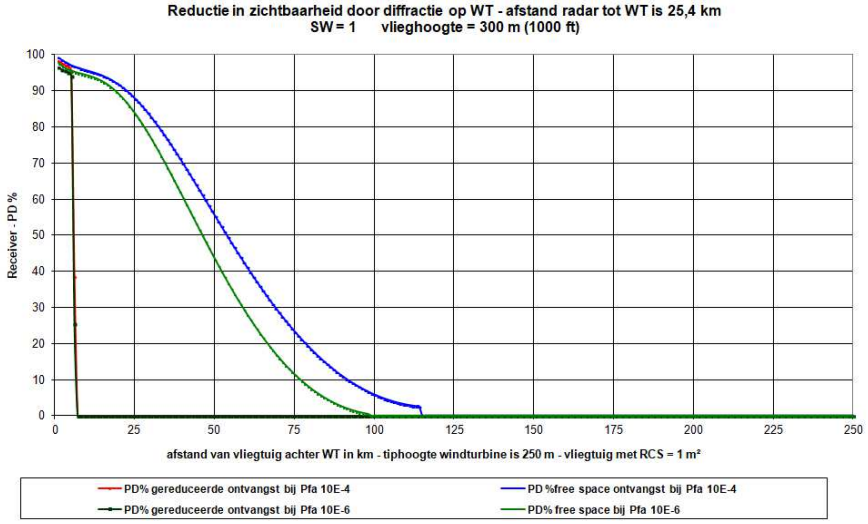
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

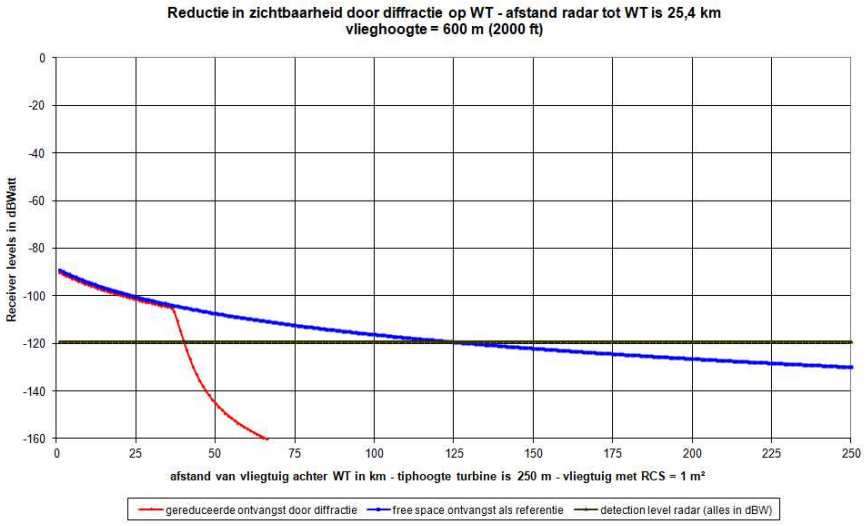


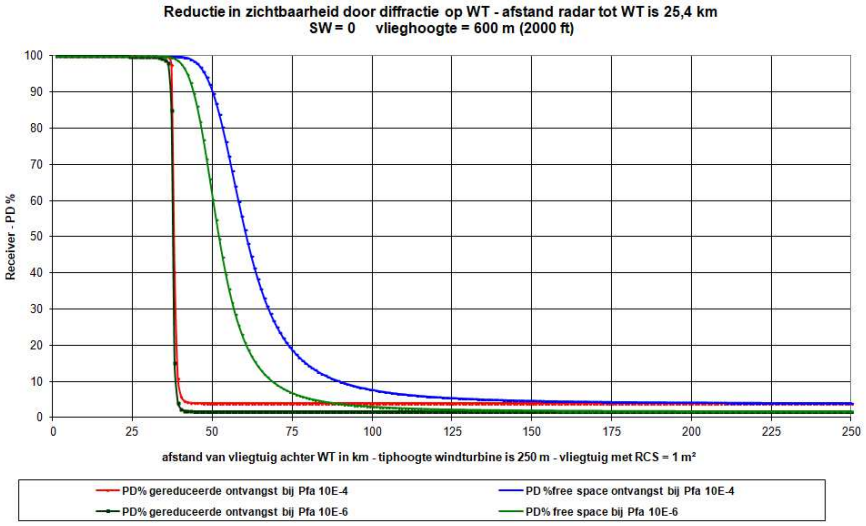
Tiphoogte WT 250 m – RCS 1 m²

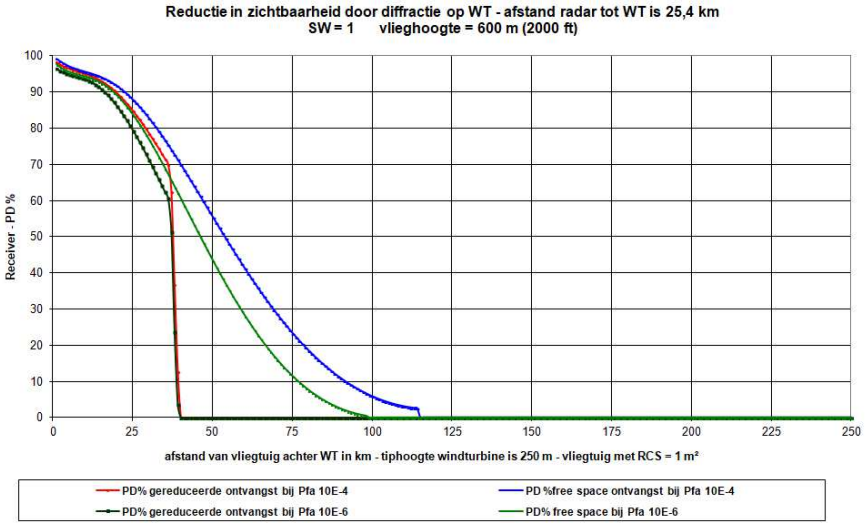


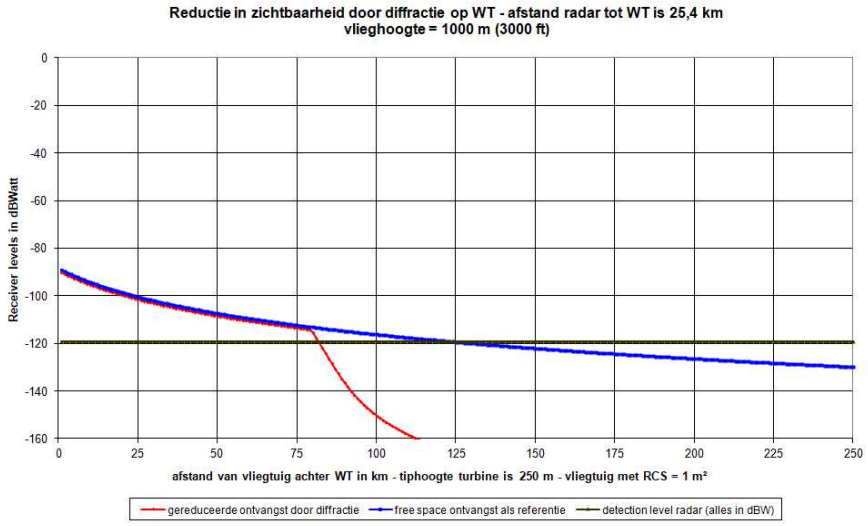


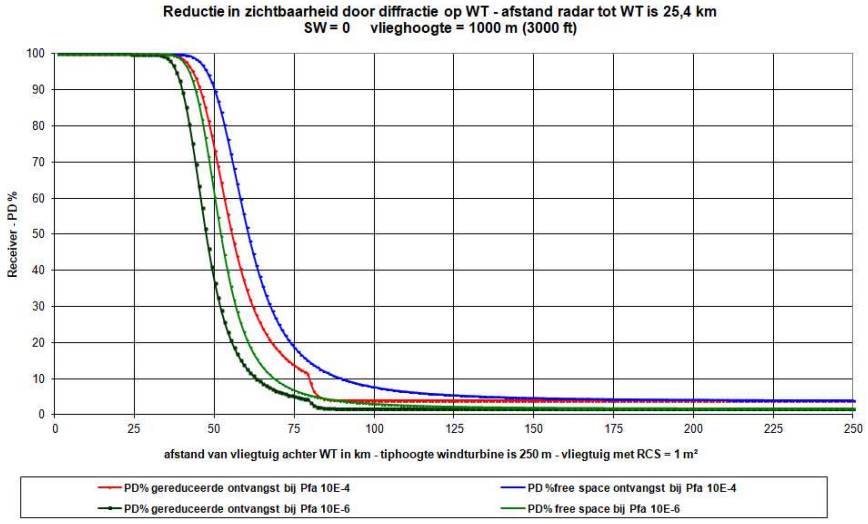


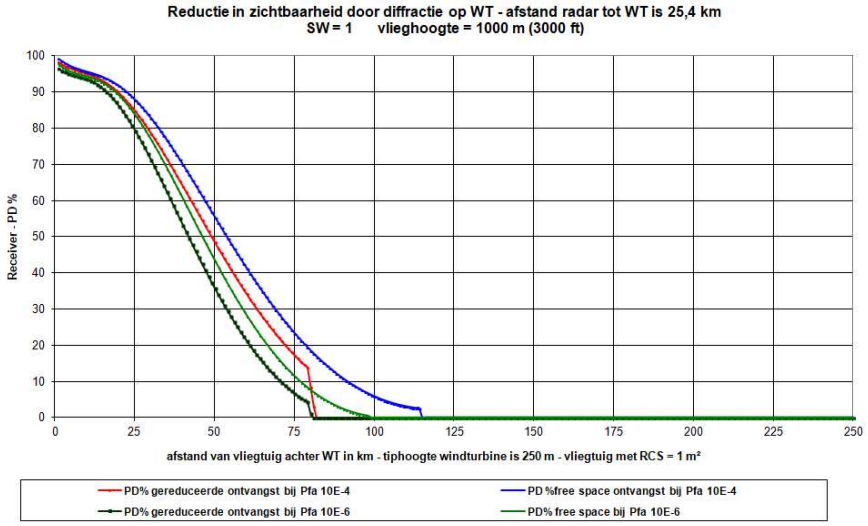

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

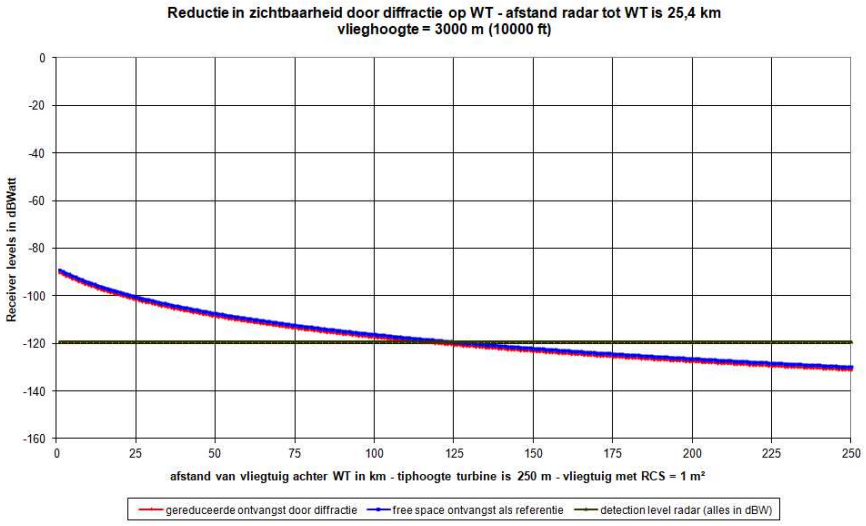

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

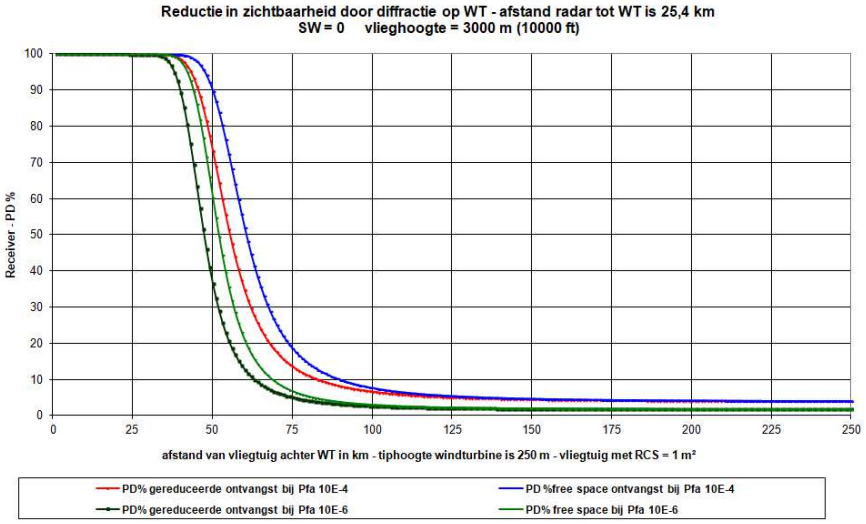

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

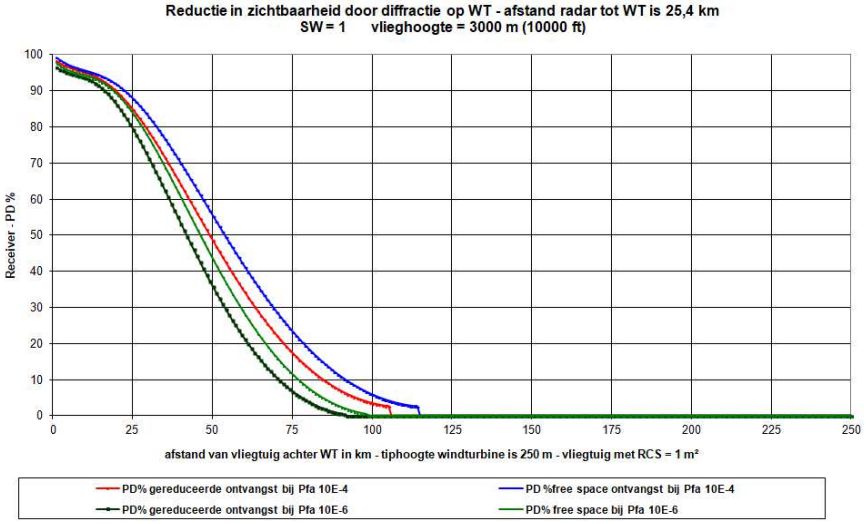

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

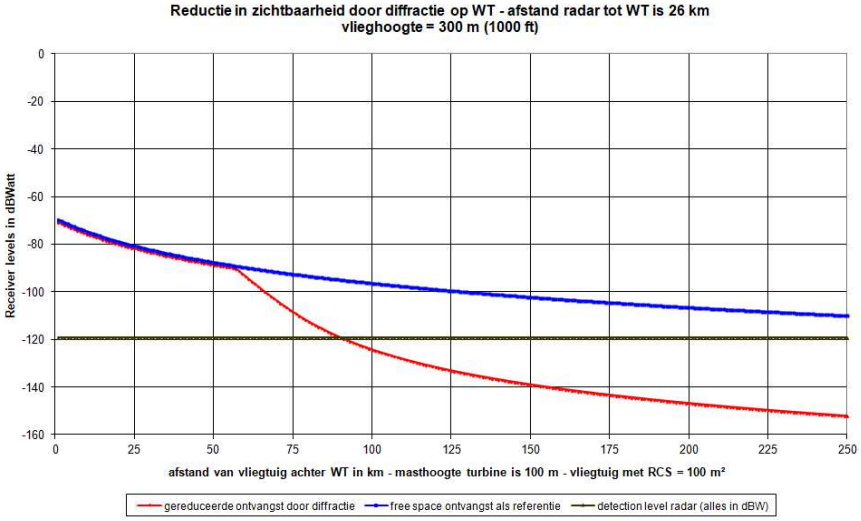

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

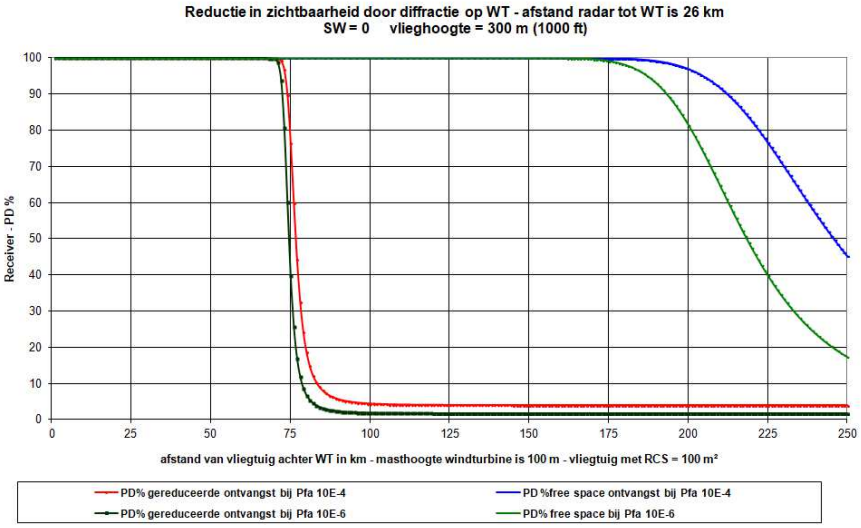

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 25,4 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 250 m - vliegtuig met RCS = 1 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

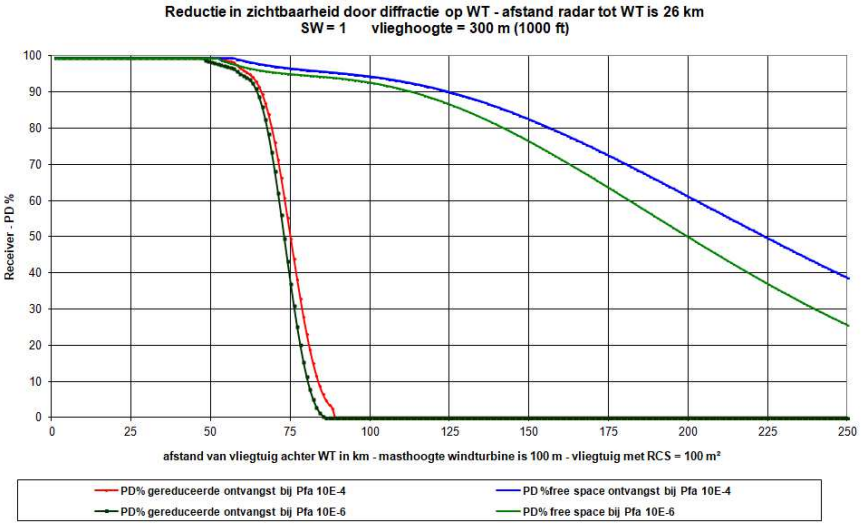
Annex 5a. Verminderde zichtbaarheid bij RCS = 100 m² en 10 m²

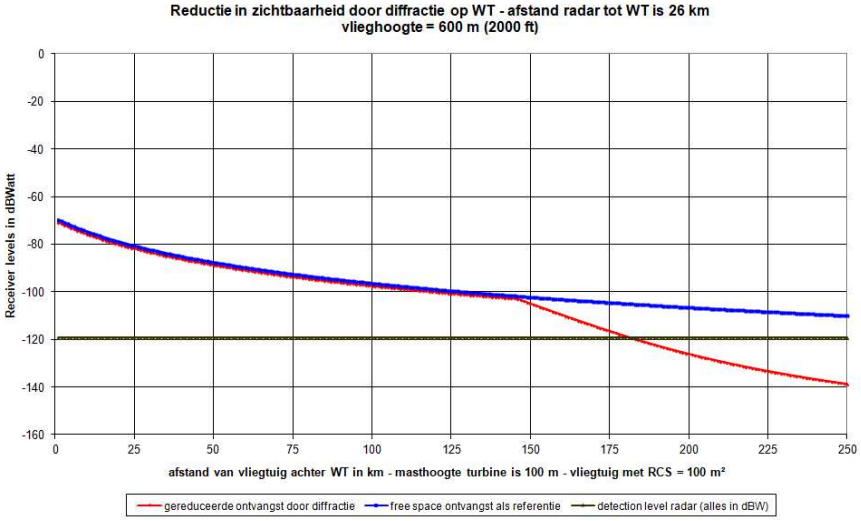
Gemiddelde van situatie "kleinere WT" Kluizendok haven Gent – 26 km

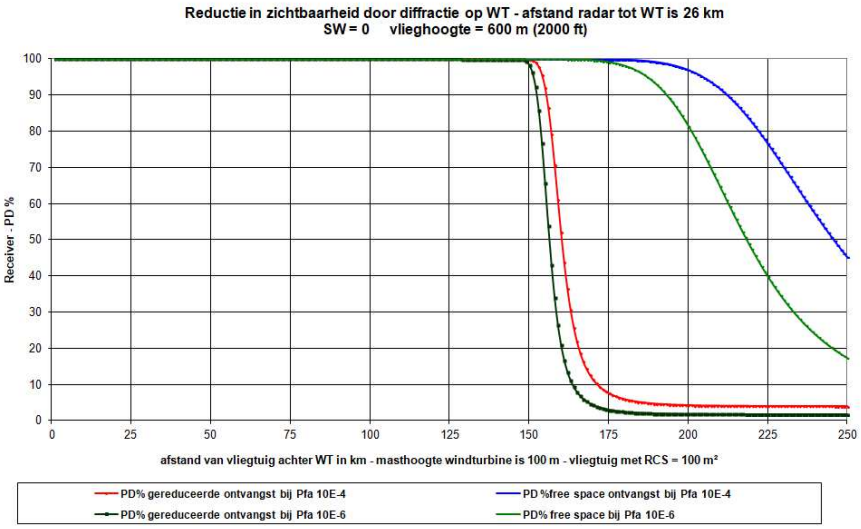
Masthoogte 100 m – RCS 100 m²

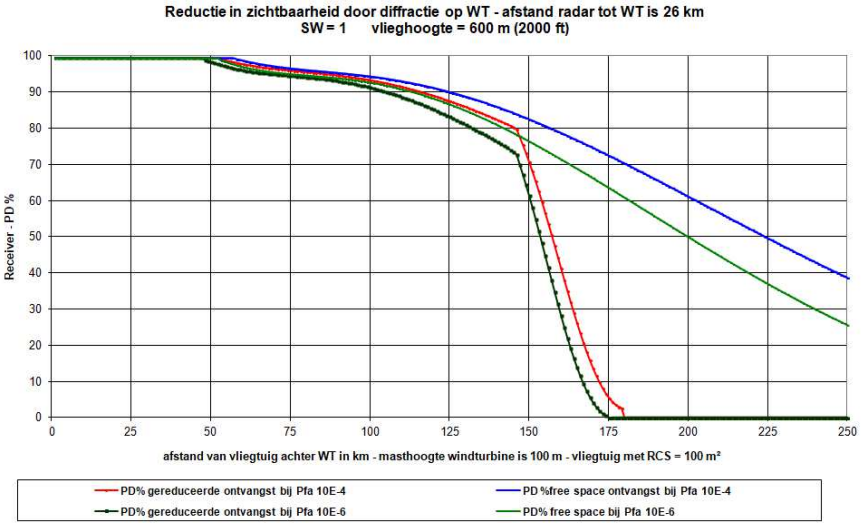


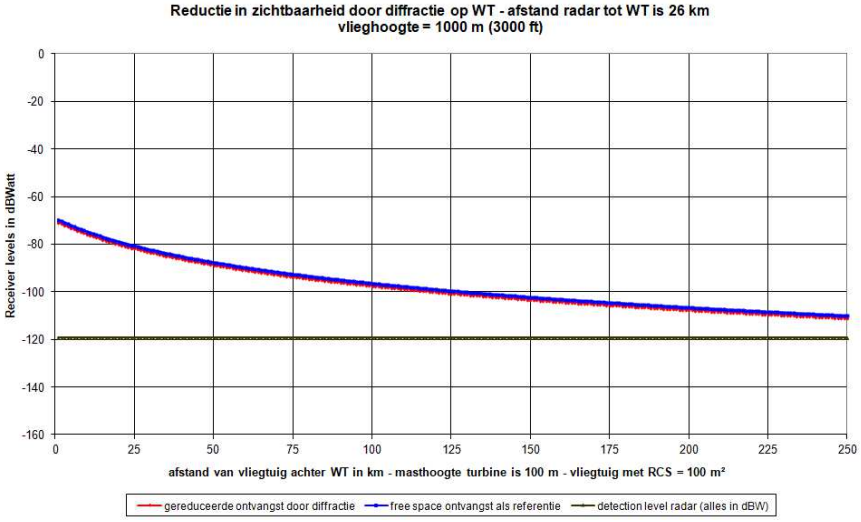


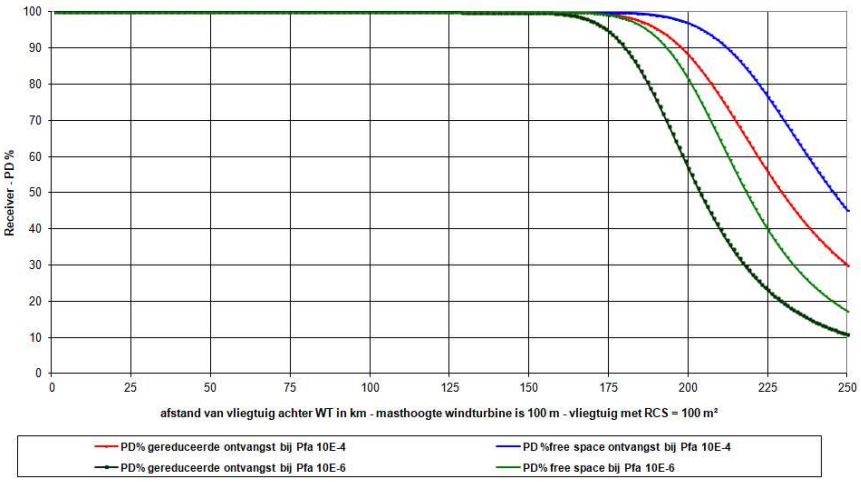


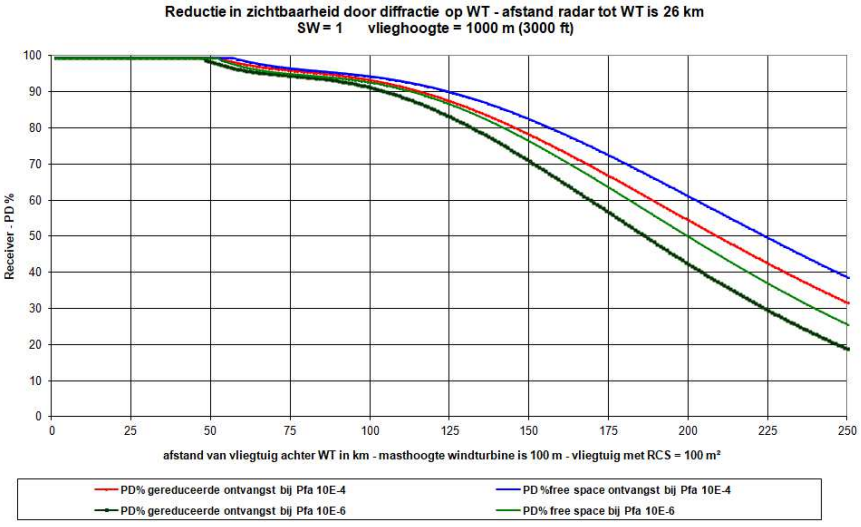

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

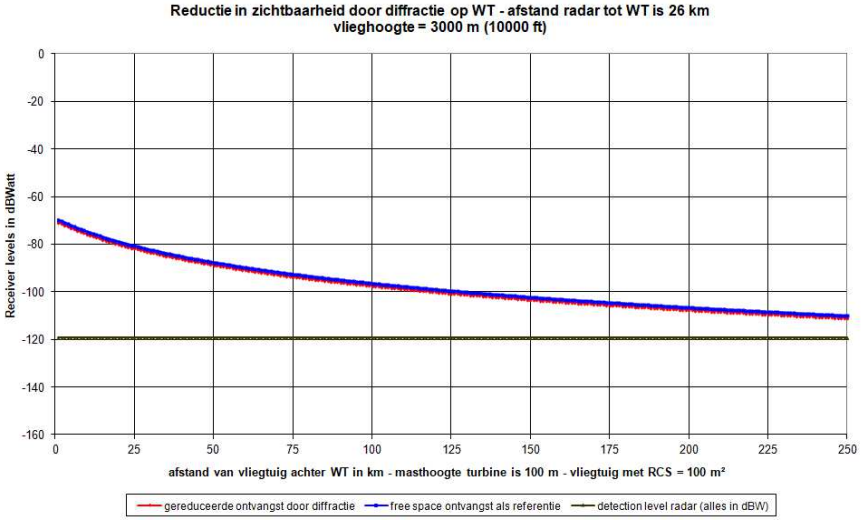

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

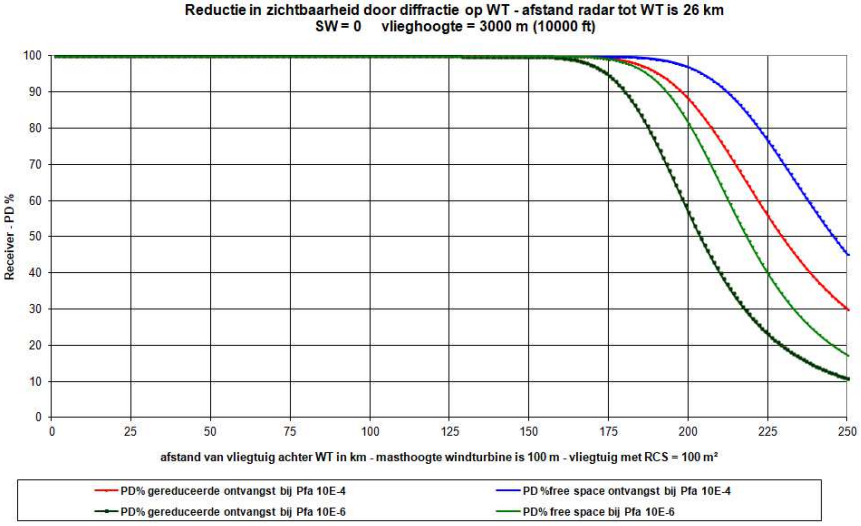

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

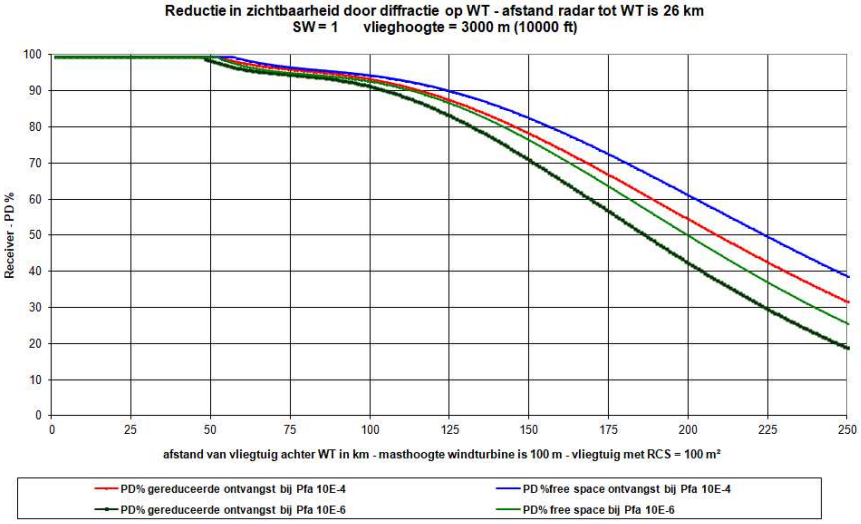

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

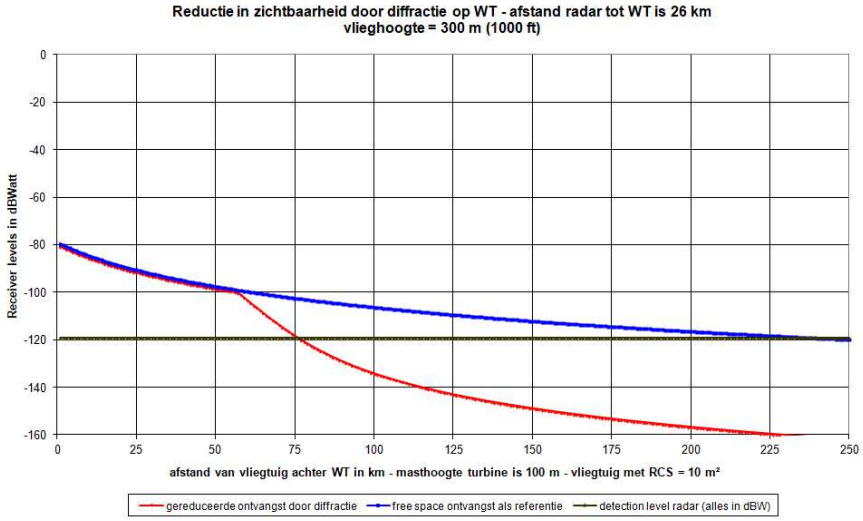

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

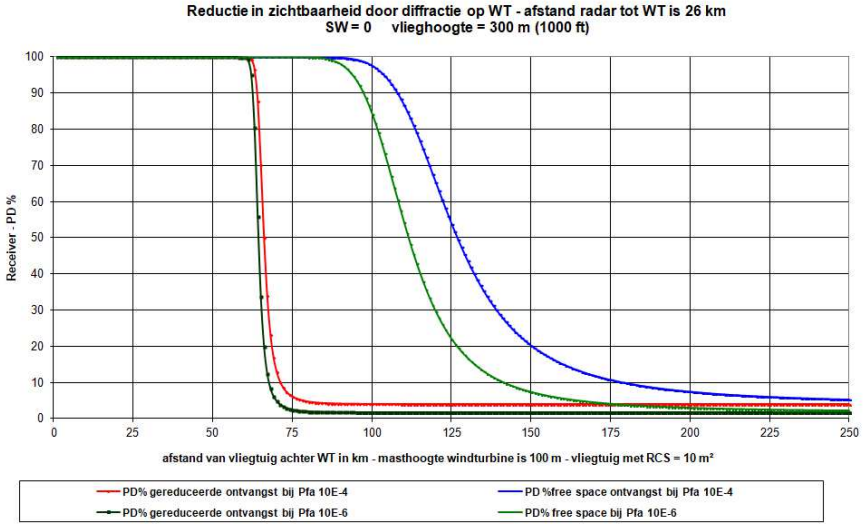

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

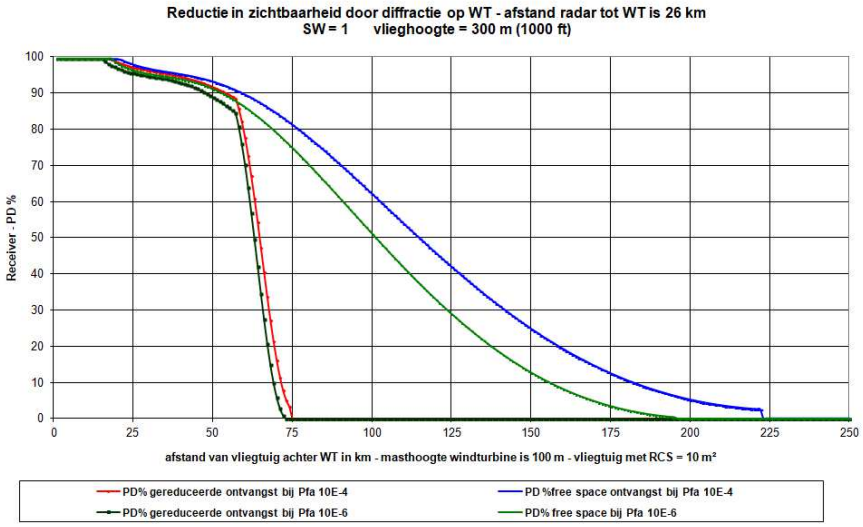

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

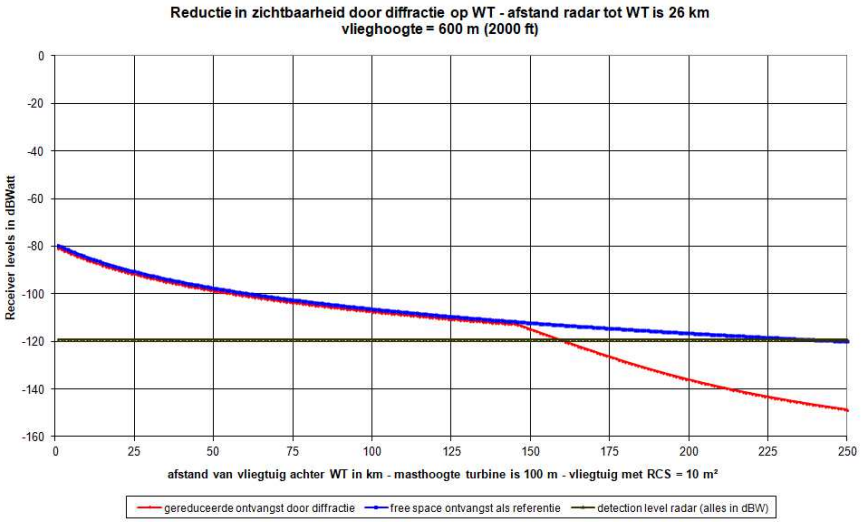

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

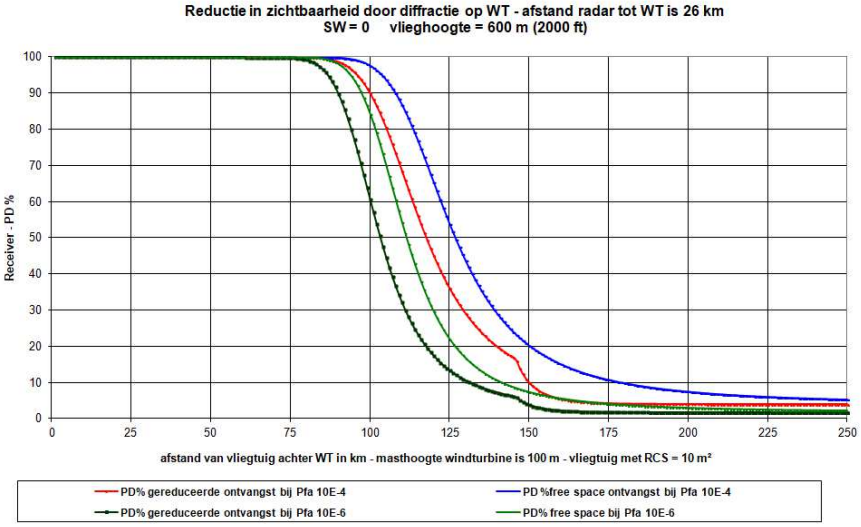
Masthoogte 100 m – RCS 10 m²

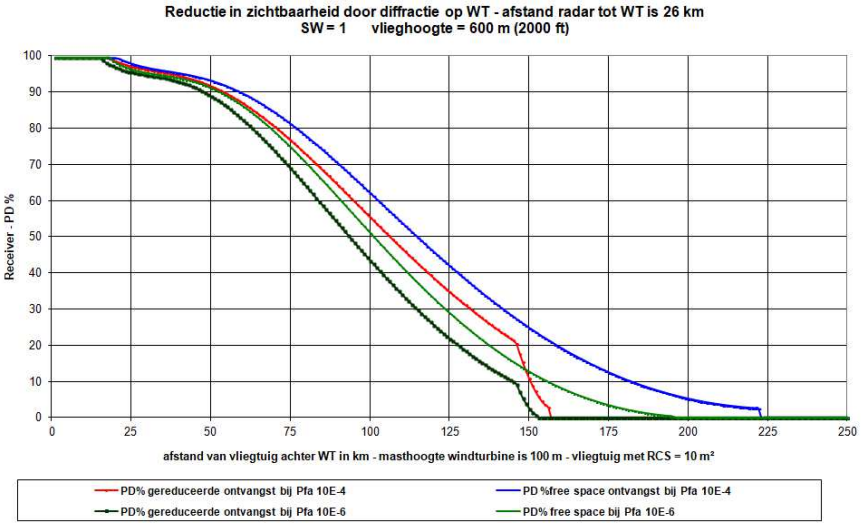


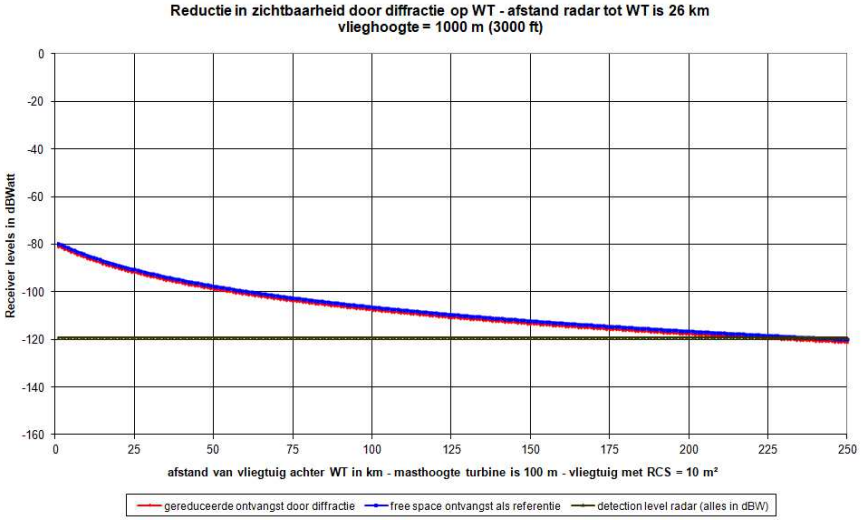


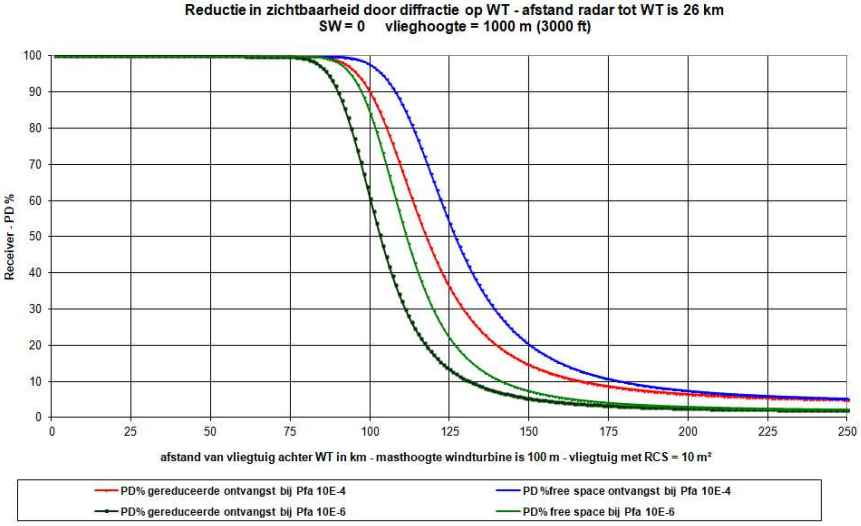


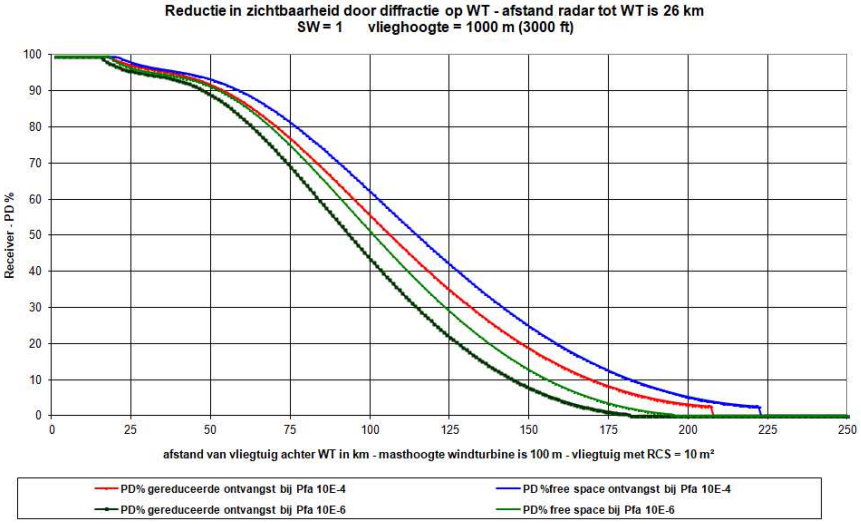

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

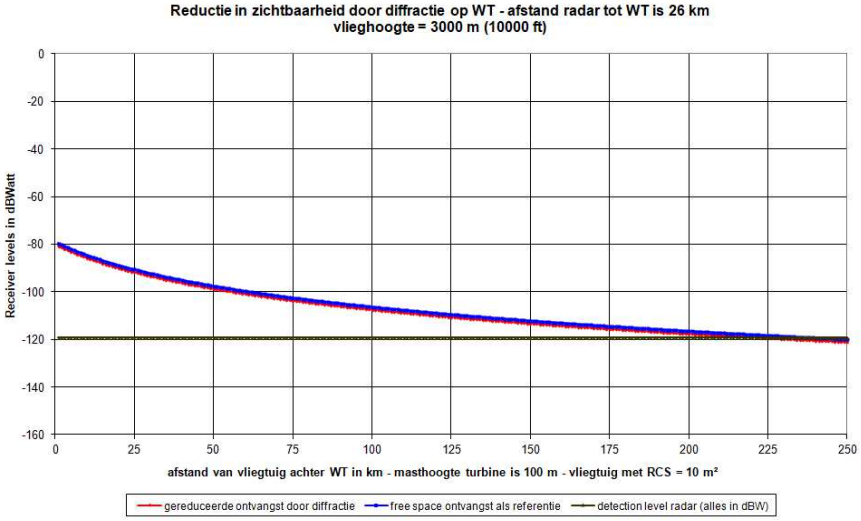

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

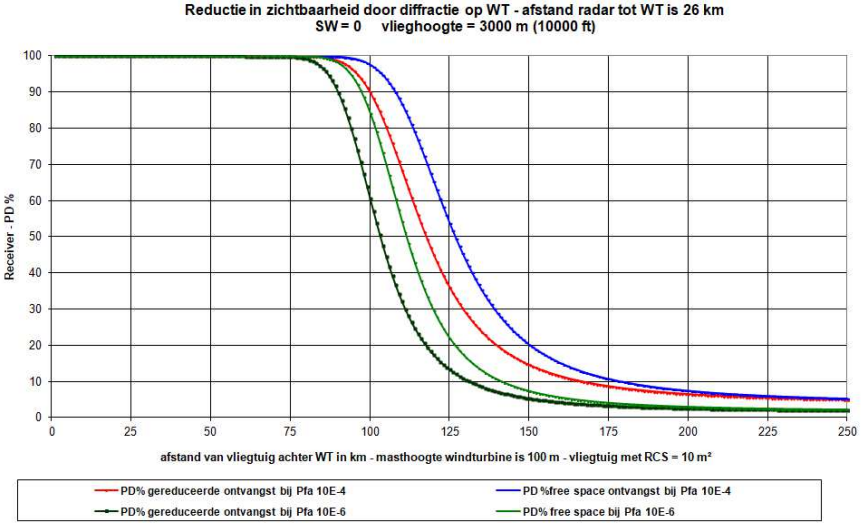

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

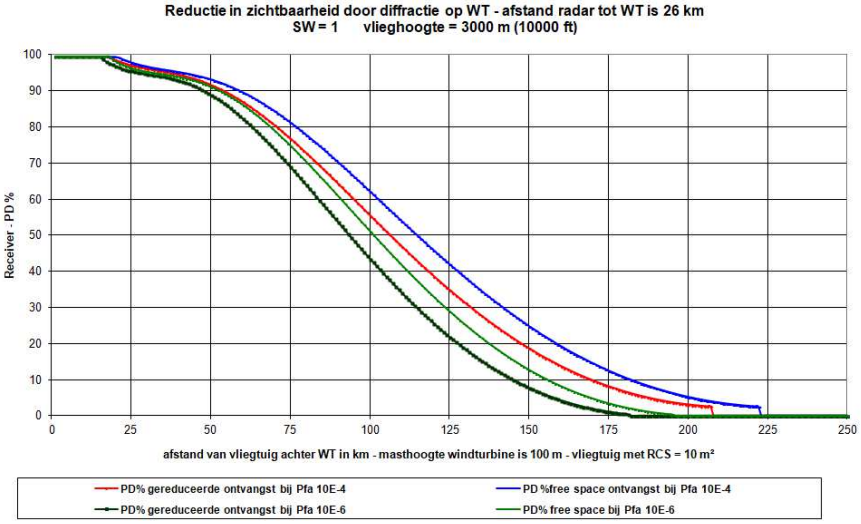

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

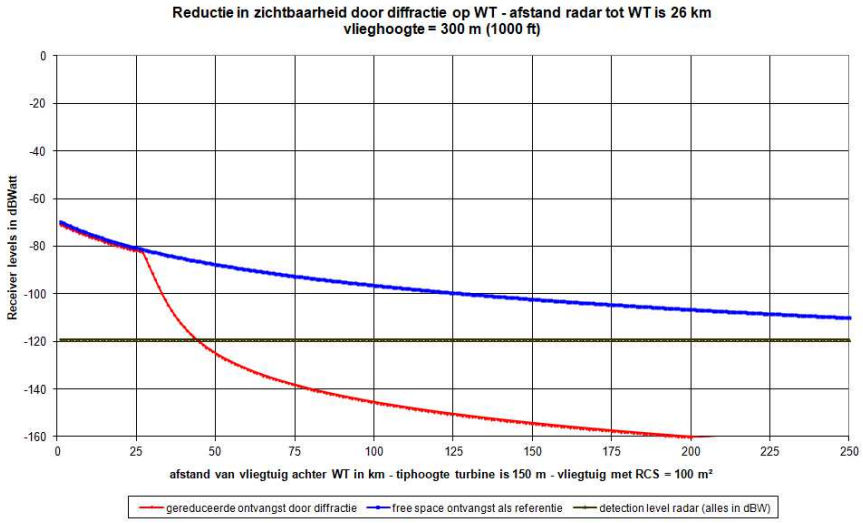

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

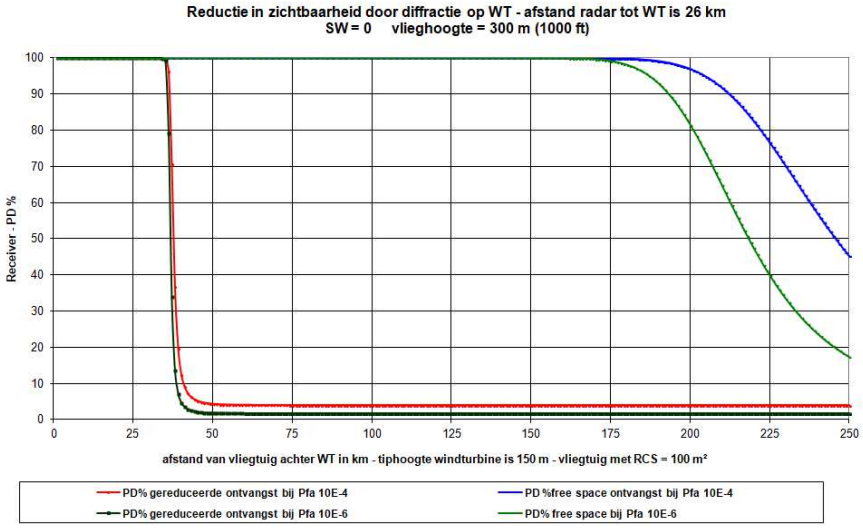

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

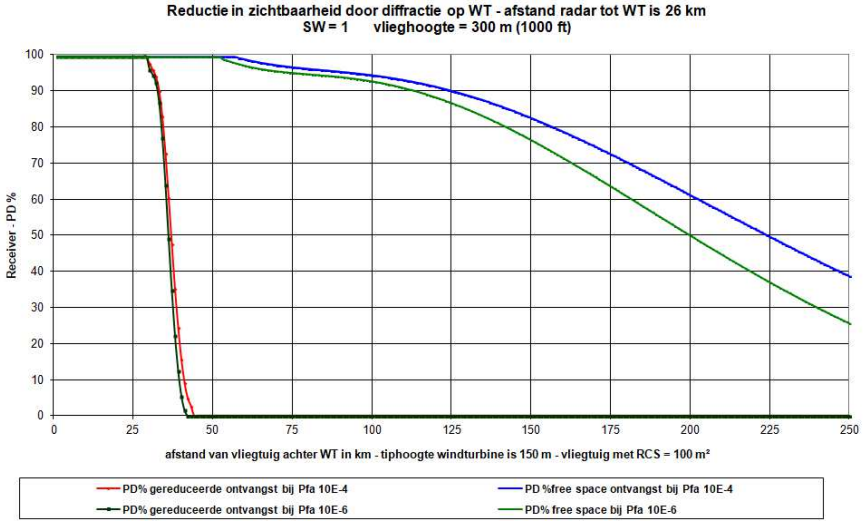

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

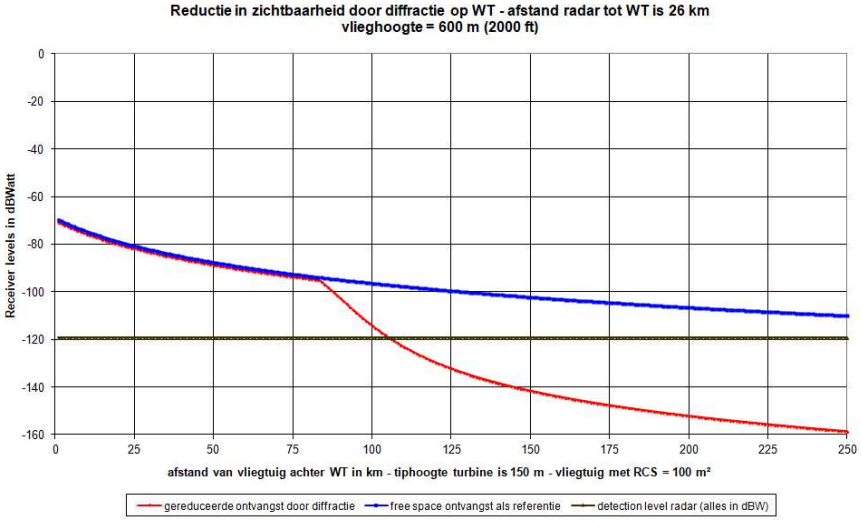

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 100 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

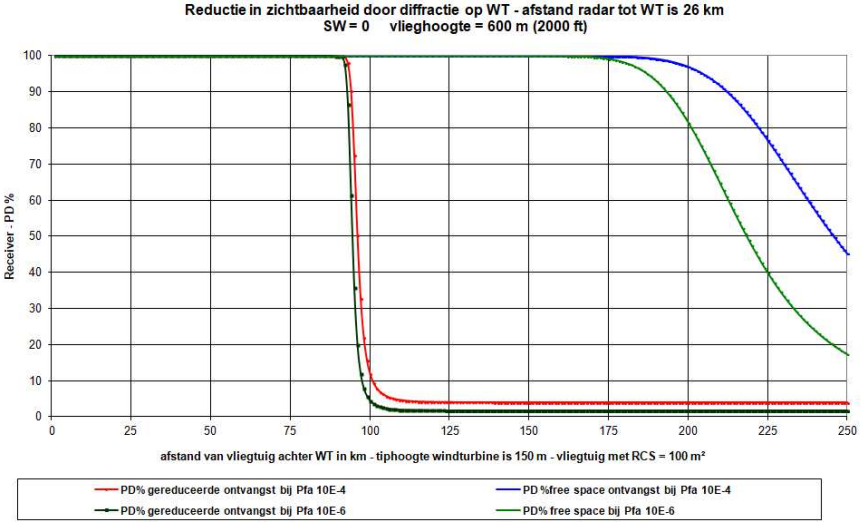
Tiphoogte WT 150 m – RCS 100 m²

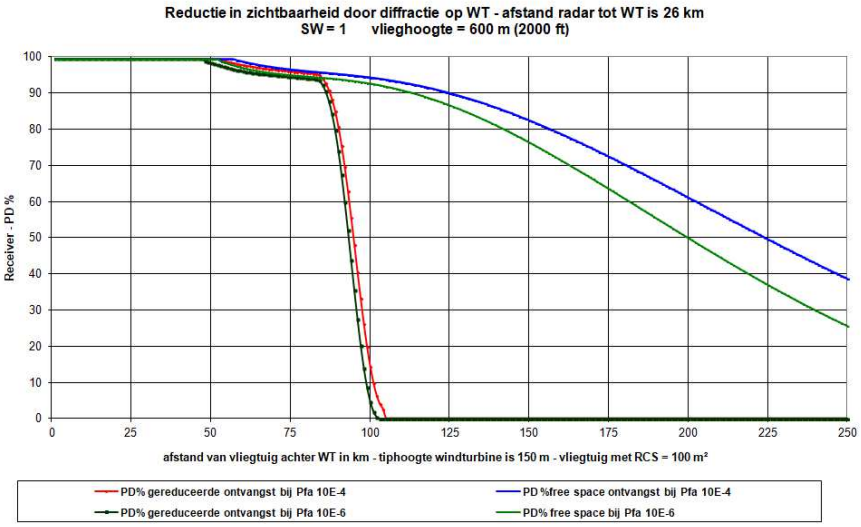


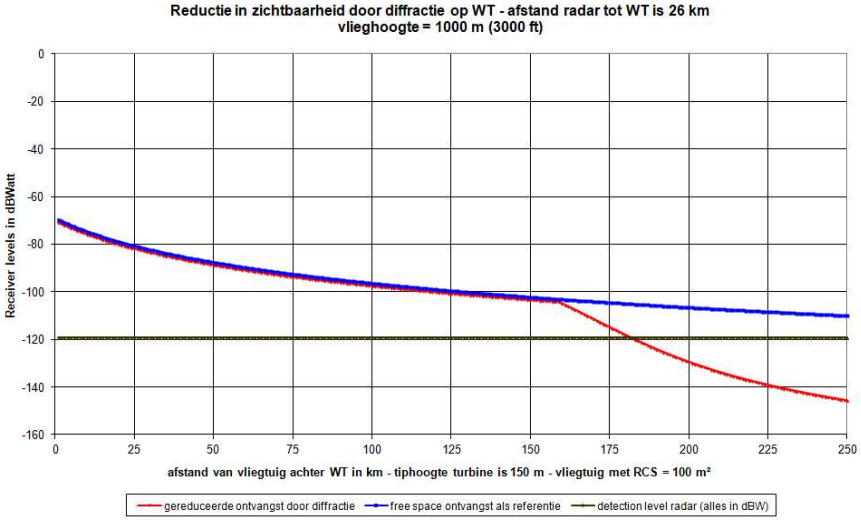


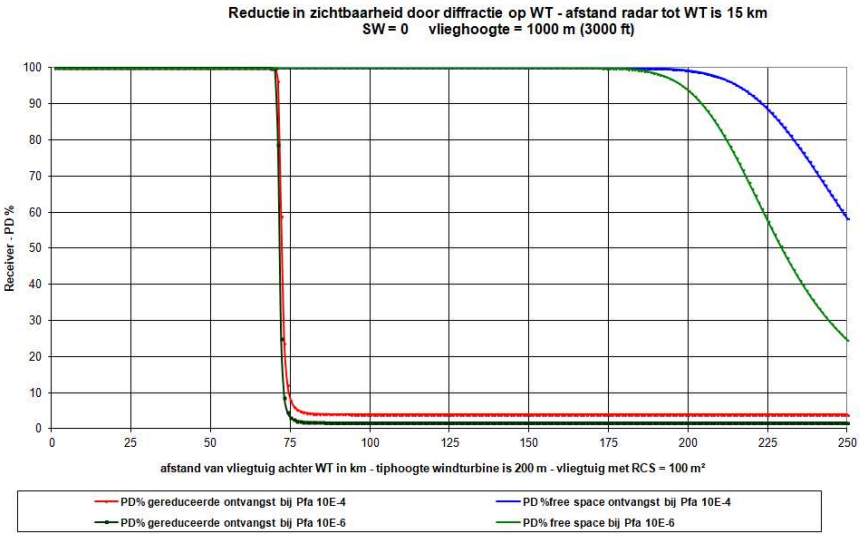


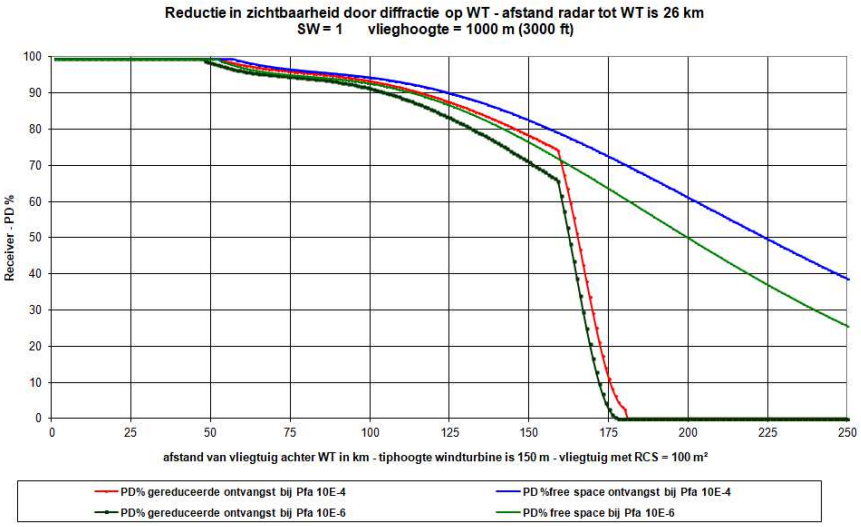

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

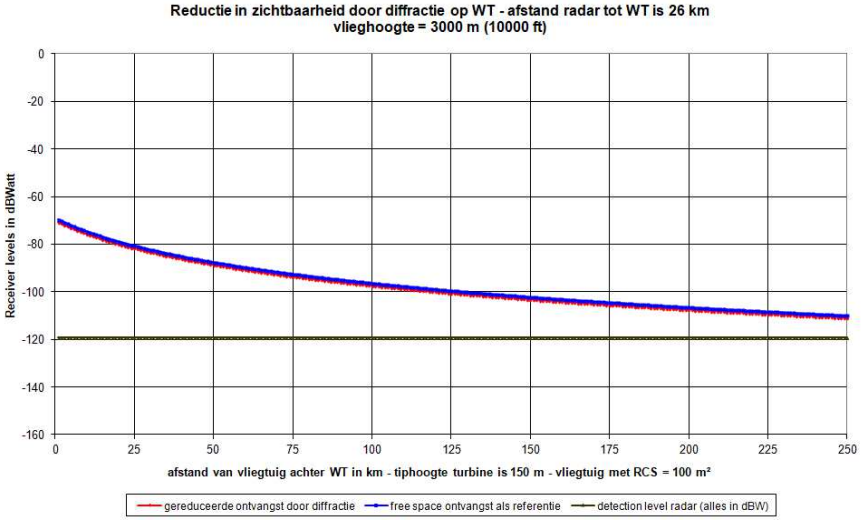

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

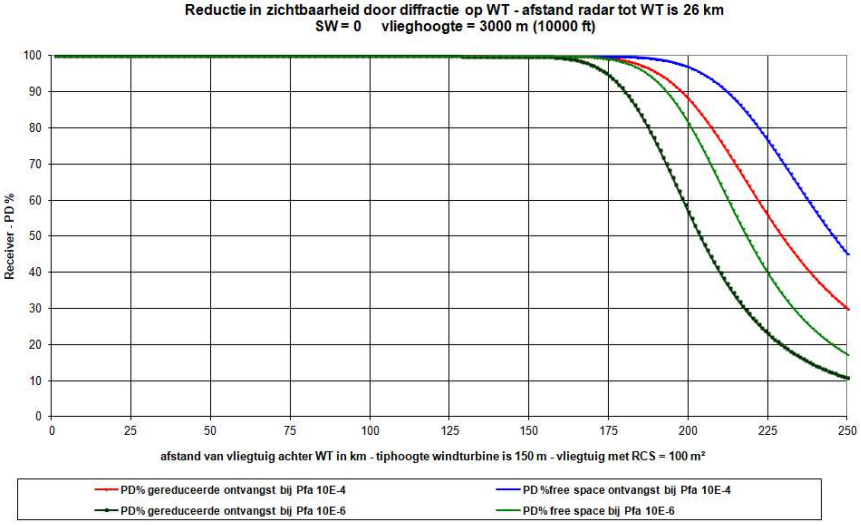

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

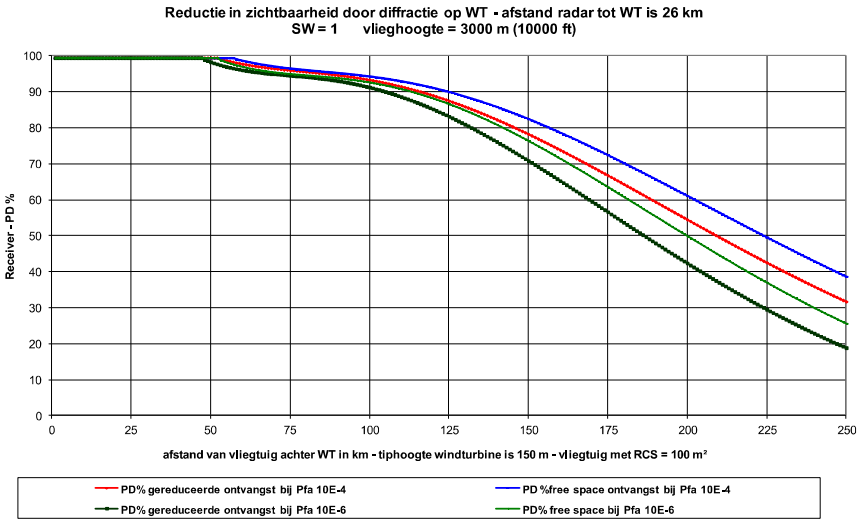

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 15 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 200 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

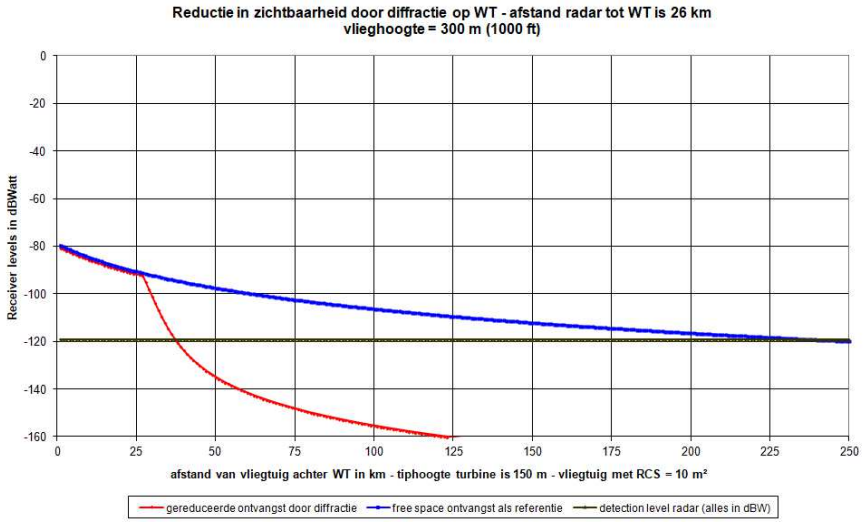

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

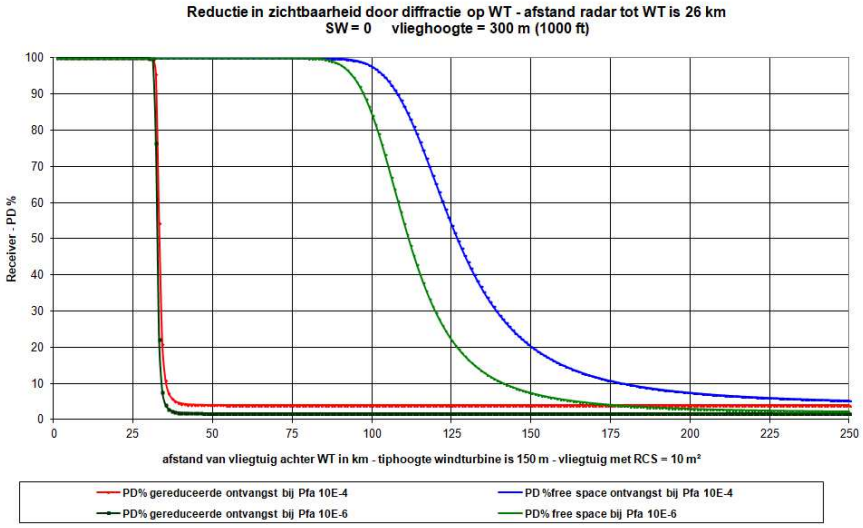

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

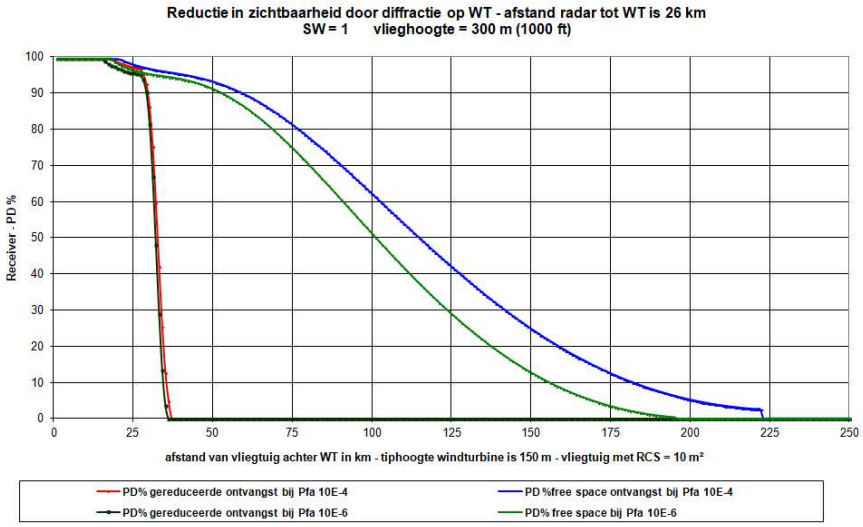

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

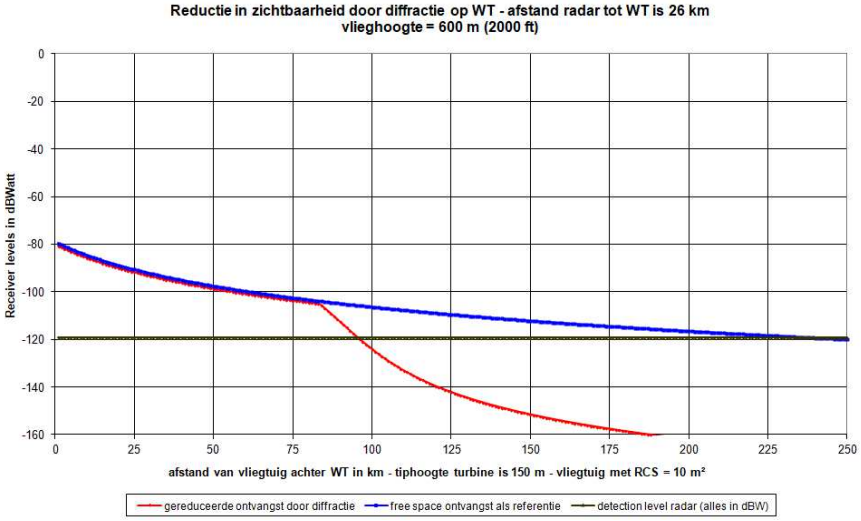

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

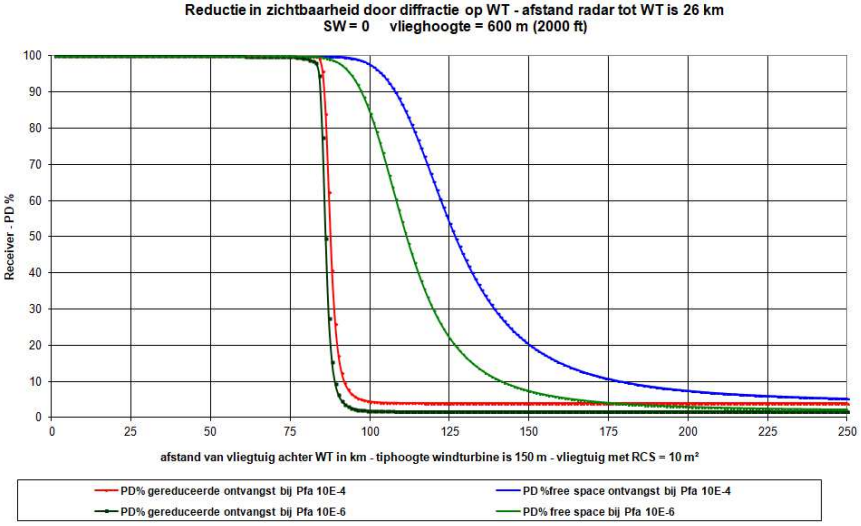
Tiphoogte WT 150 m – RCS 10 m²

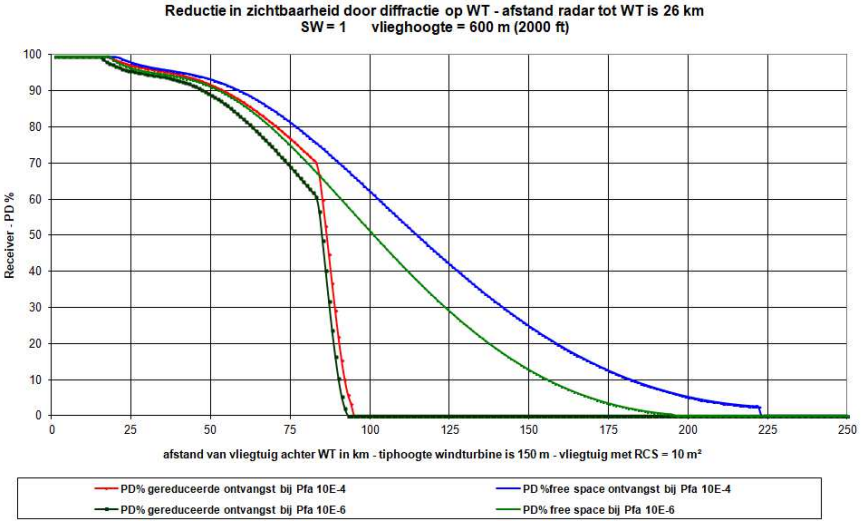


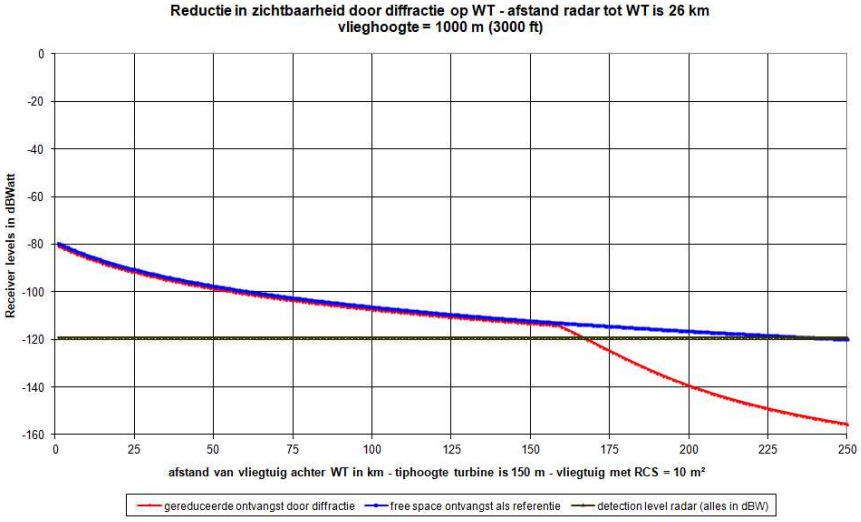


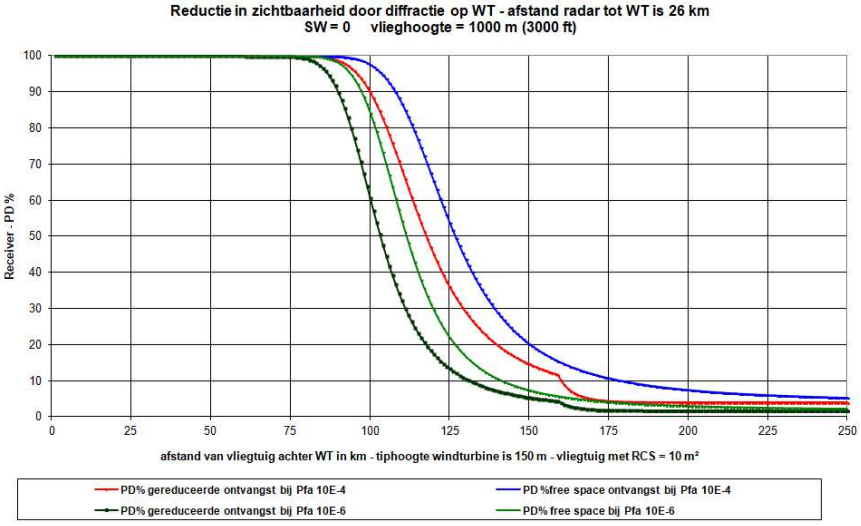


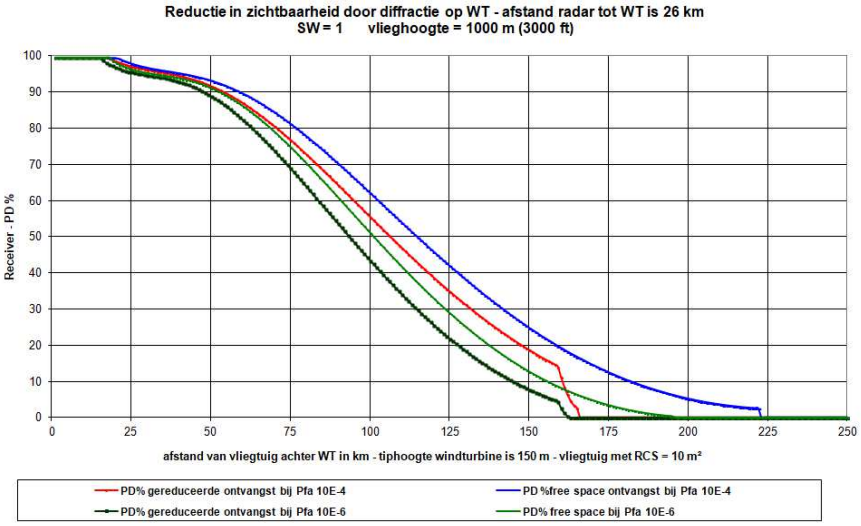

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

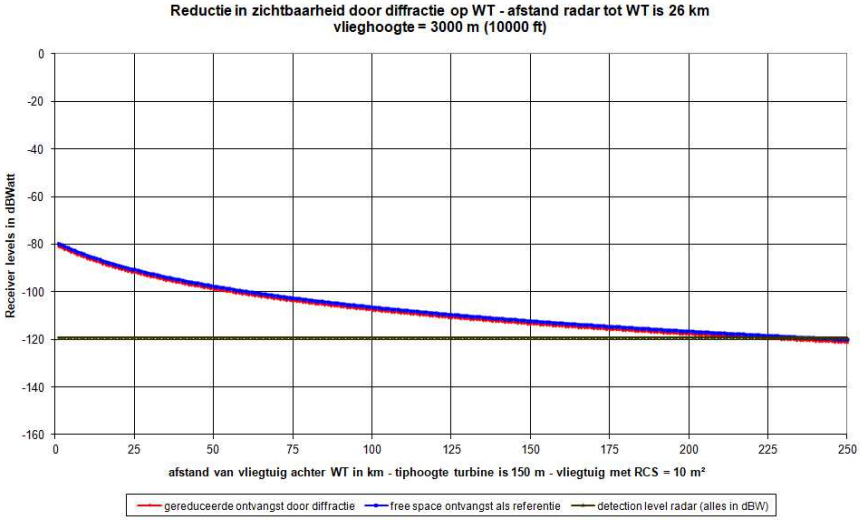

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

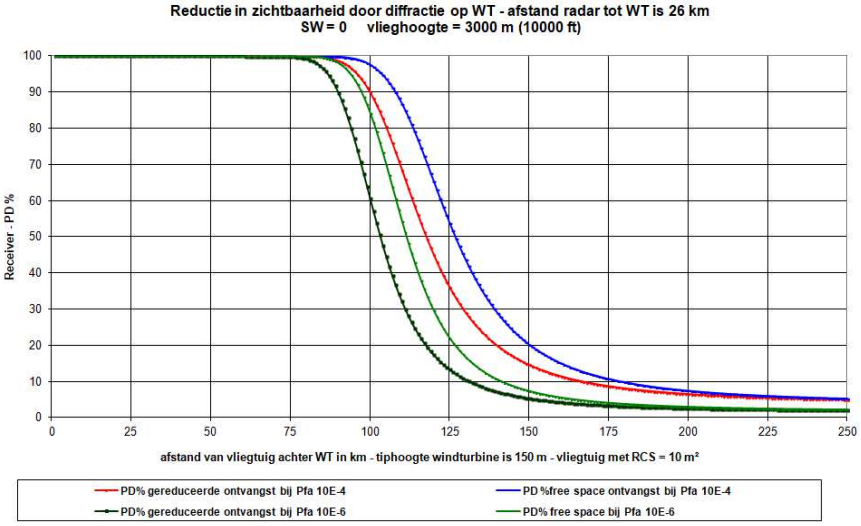

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

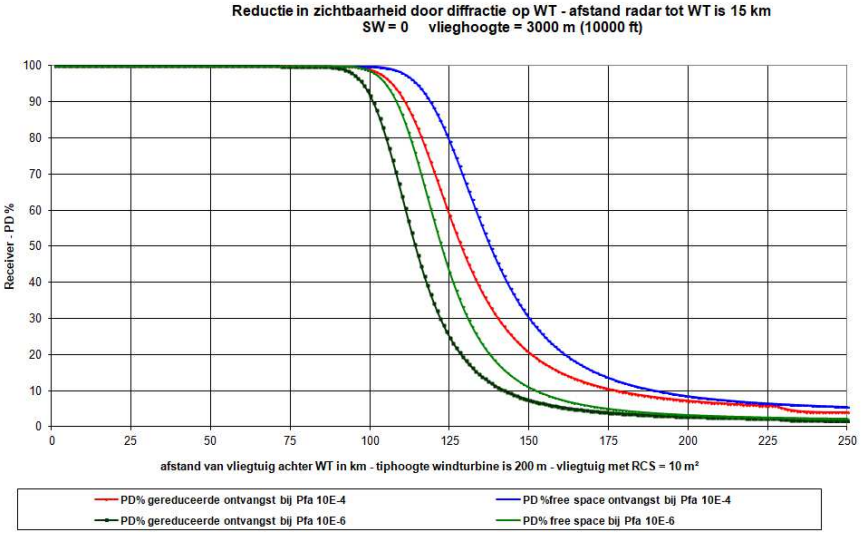

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

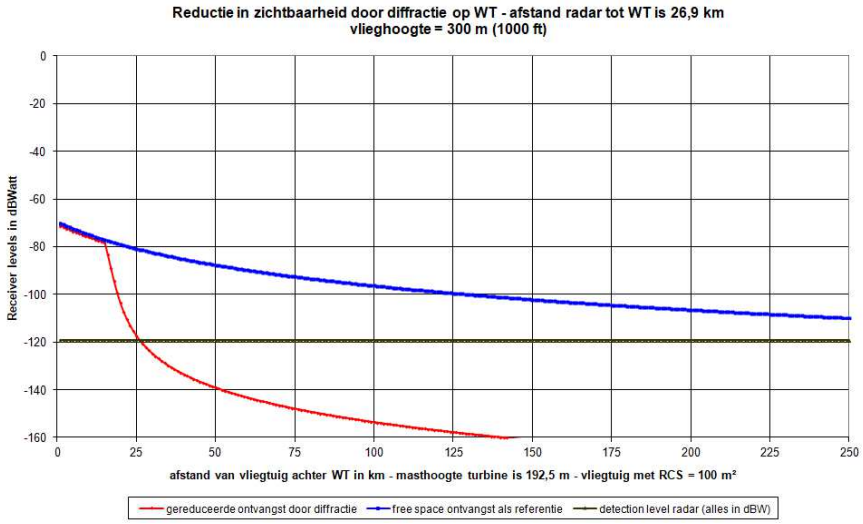

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 150 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

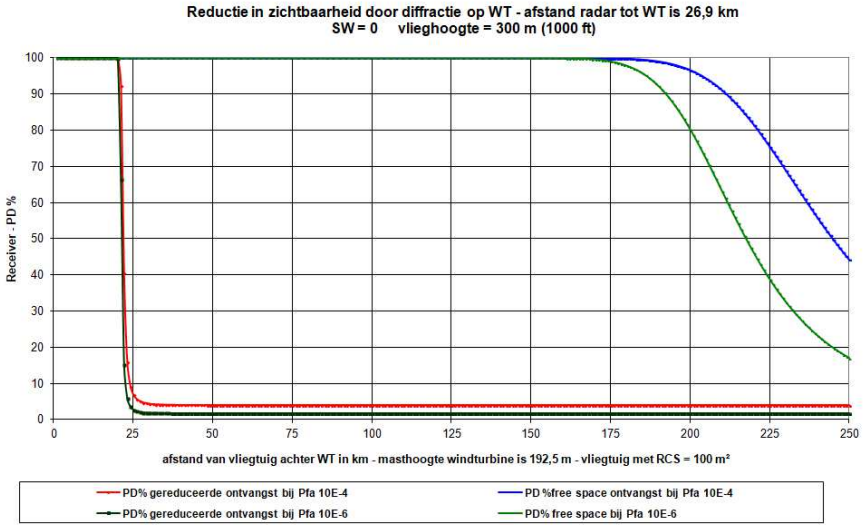

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 15 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 200 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

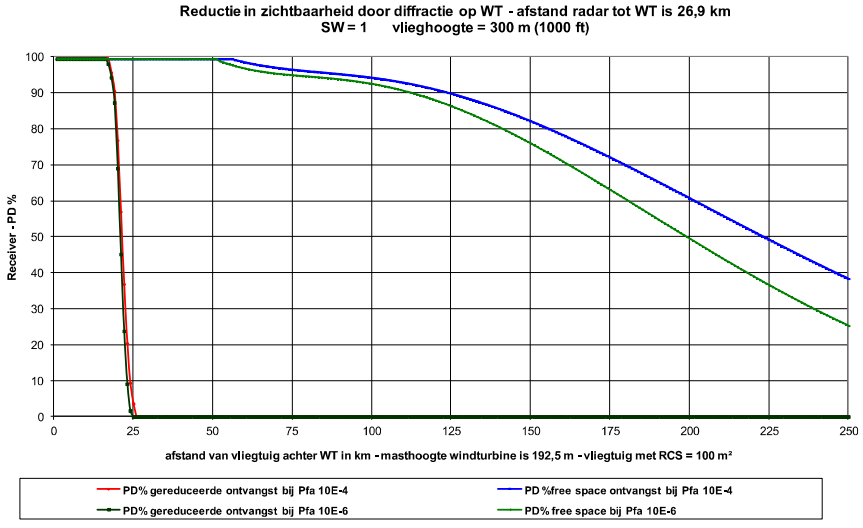
Annex 5b. Verminderde zichtbaarheid bij RCS = 100 m² en 10 m²

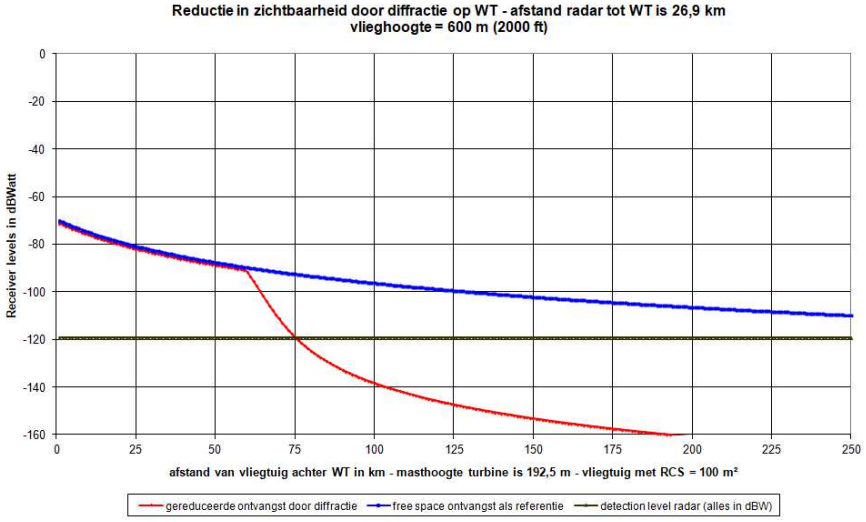
Project "Transferium" Kluizendok haven Gent – 26,9 km

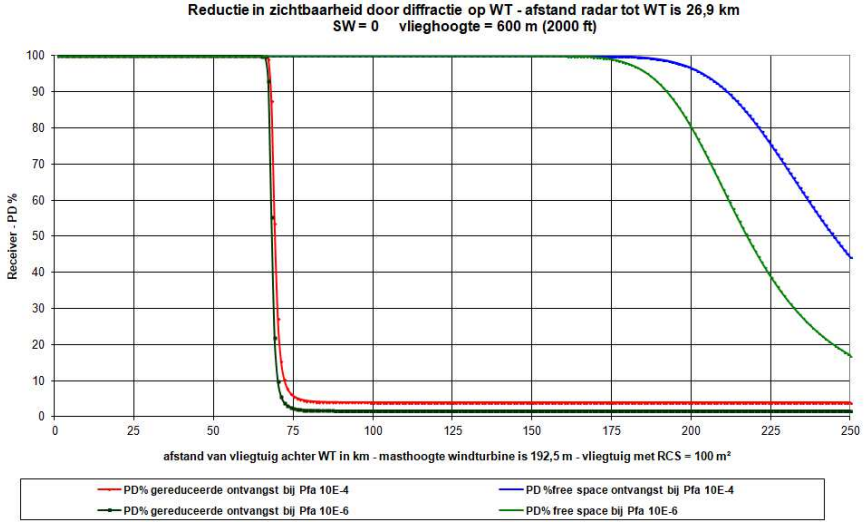
Masthoogte 192,5 m – RCS 100 m²

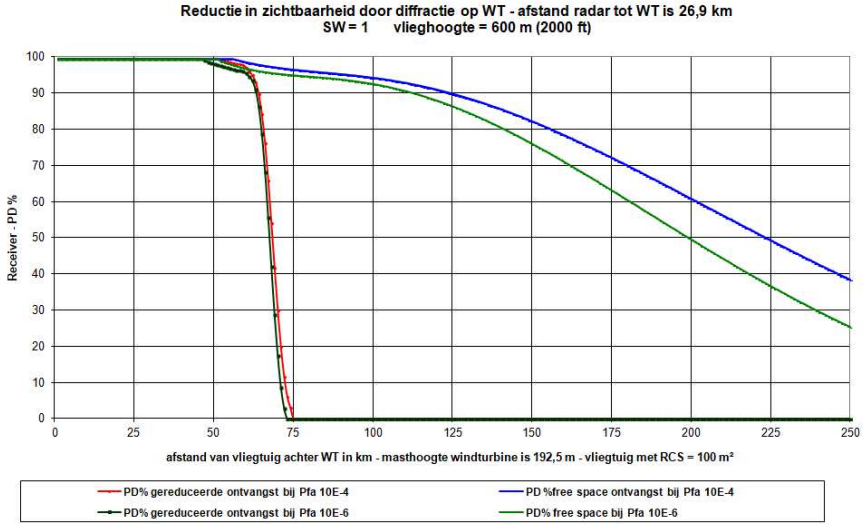


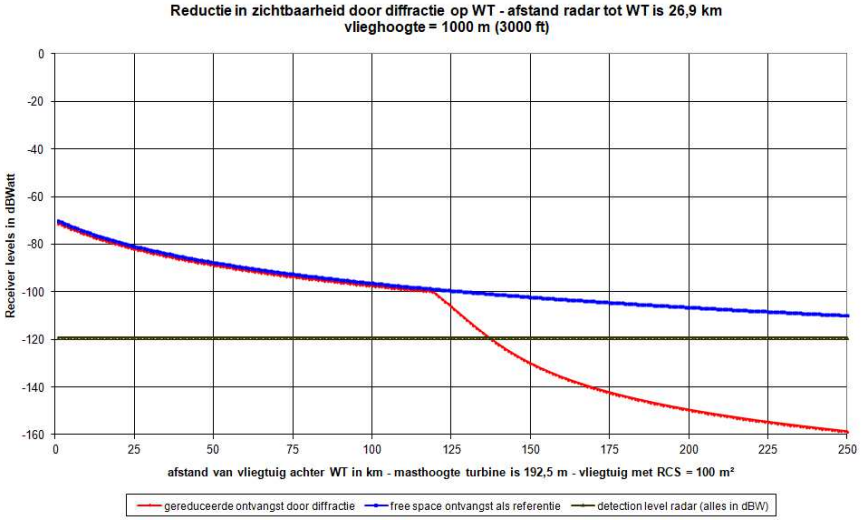


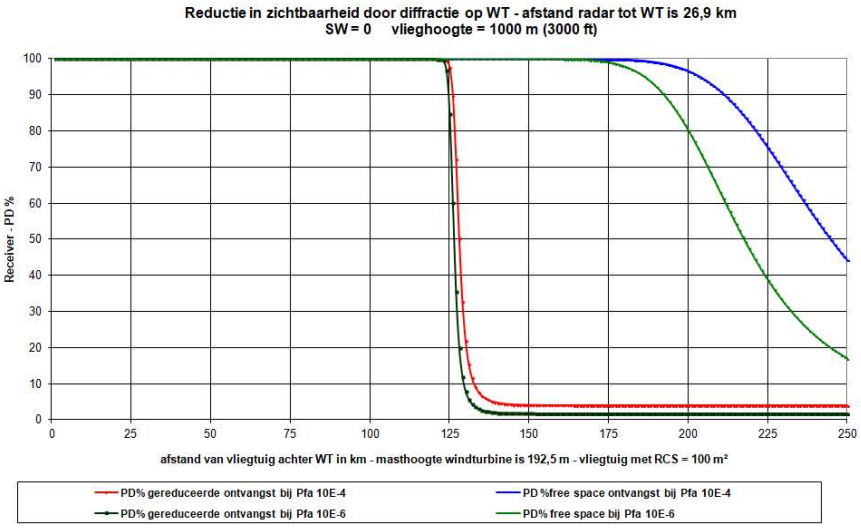


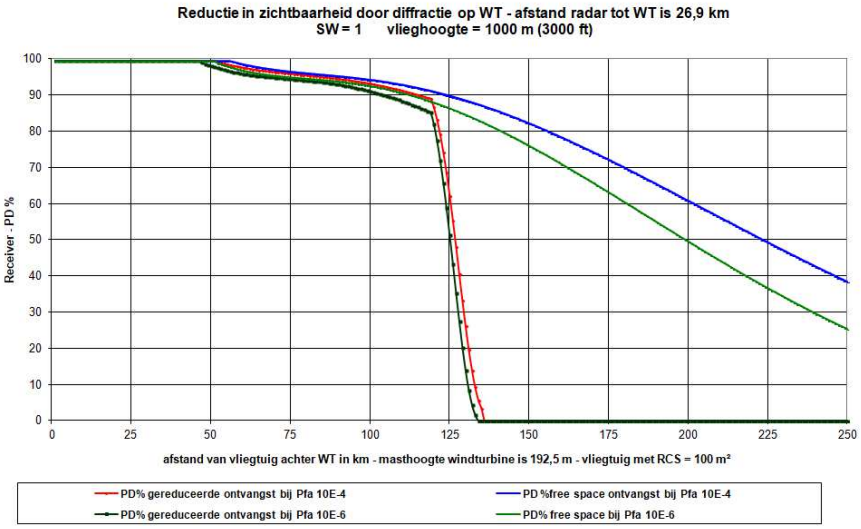

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

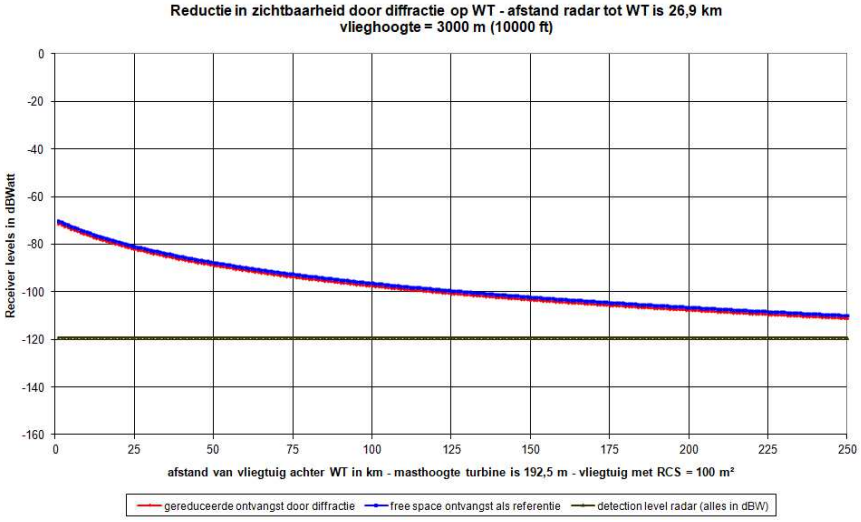

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

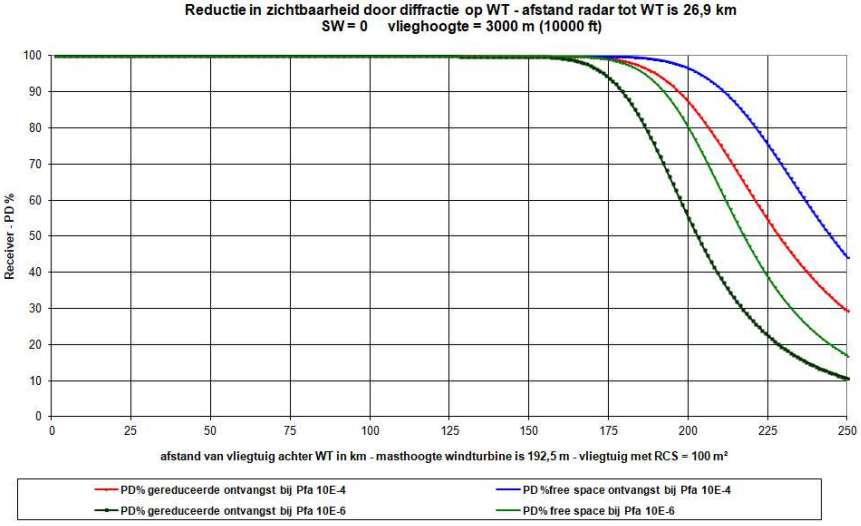

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

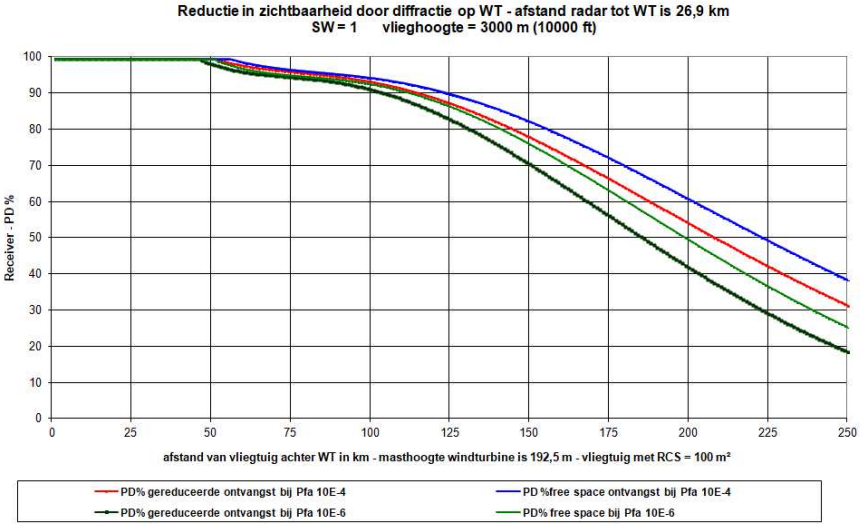

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

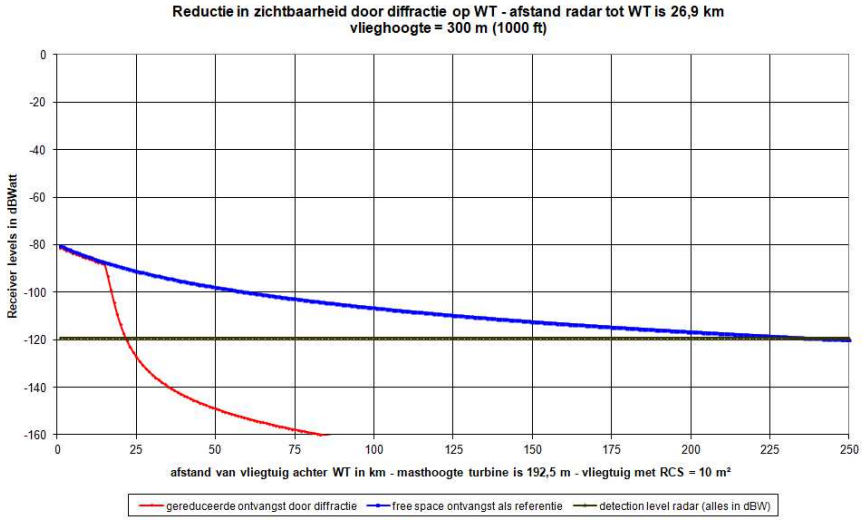

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

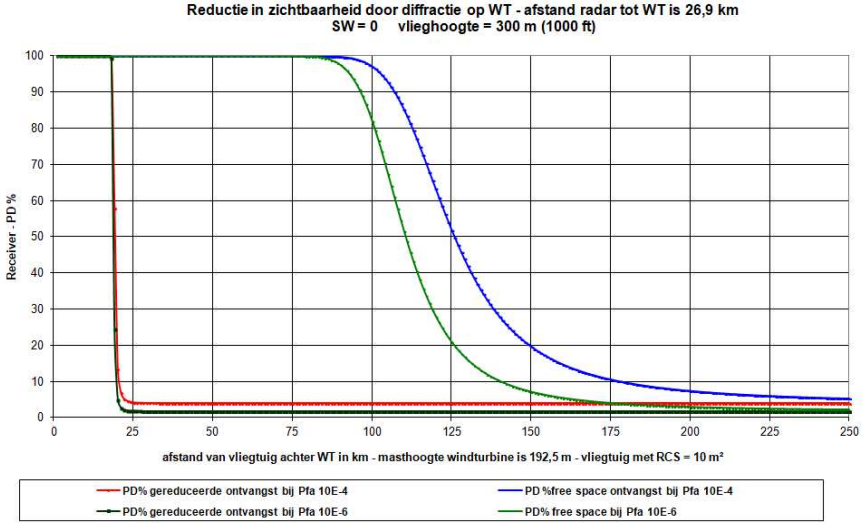

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

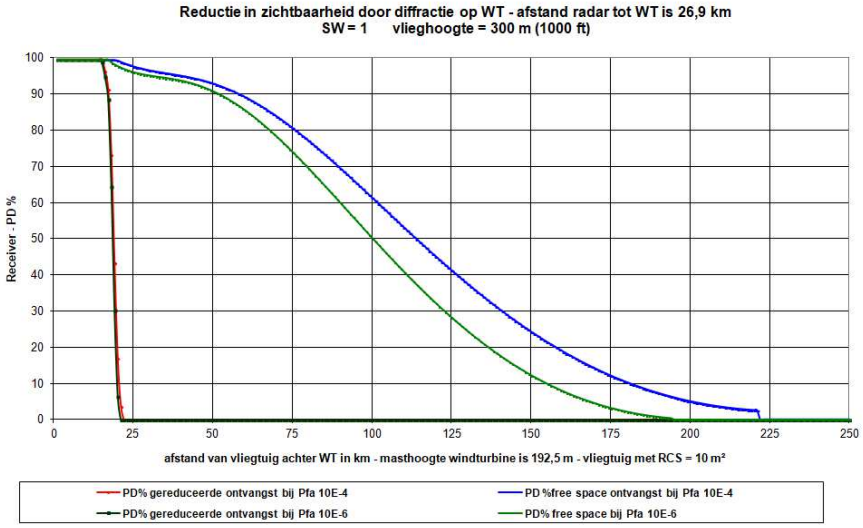

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

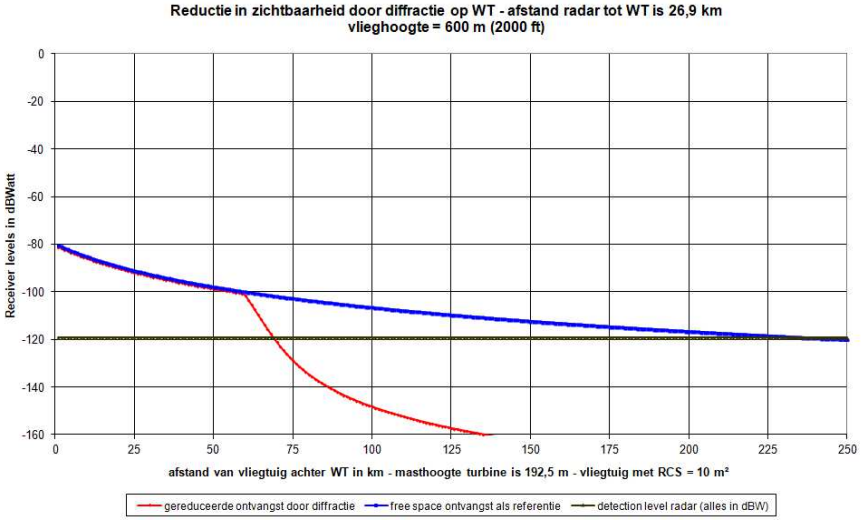

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

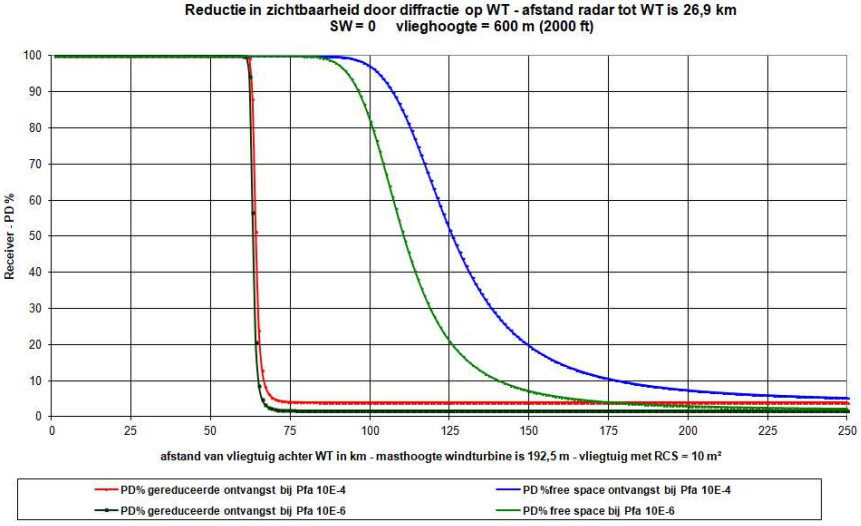
Masthoogte 192,5 m – RCS 10 m²

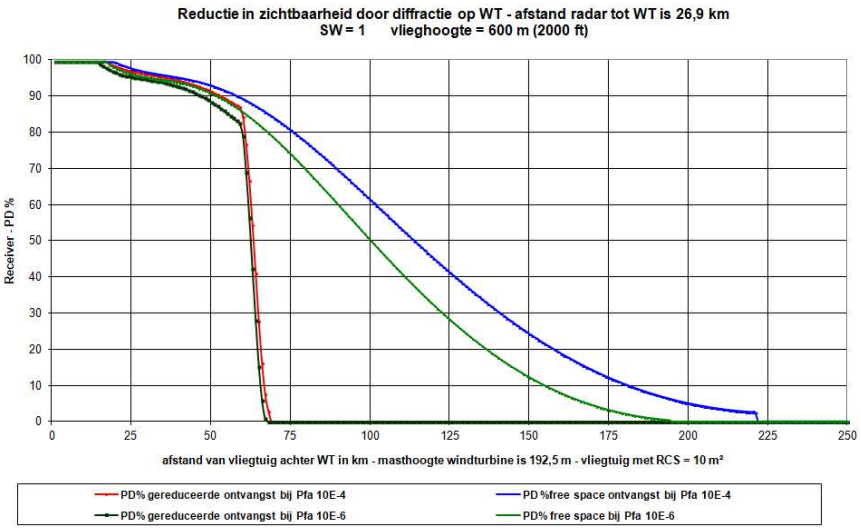


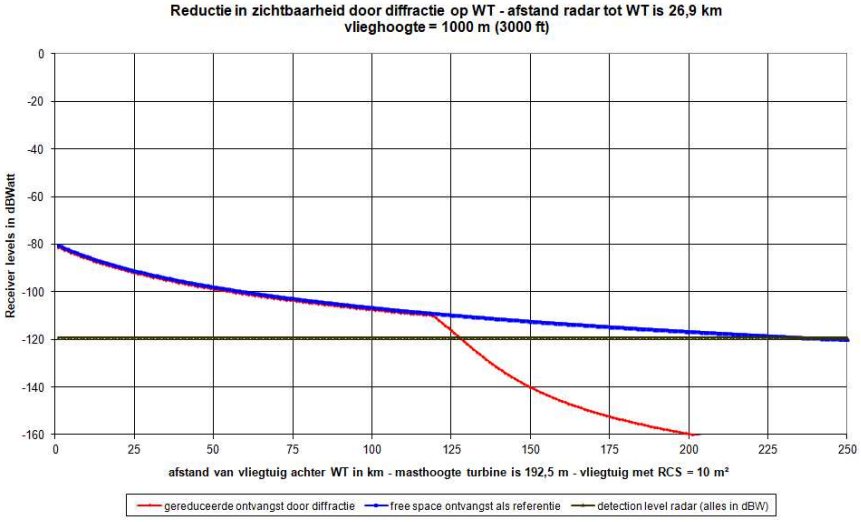


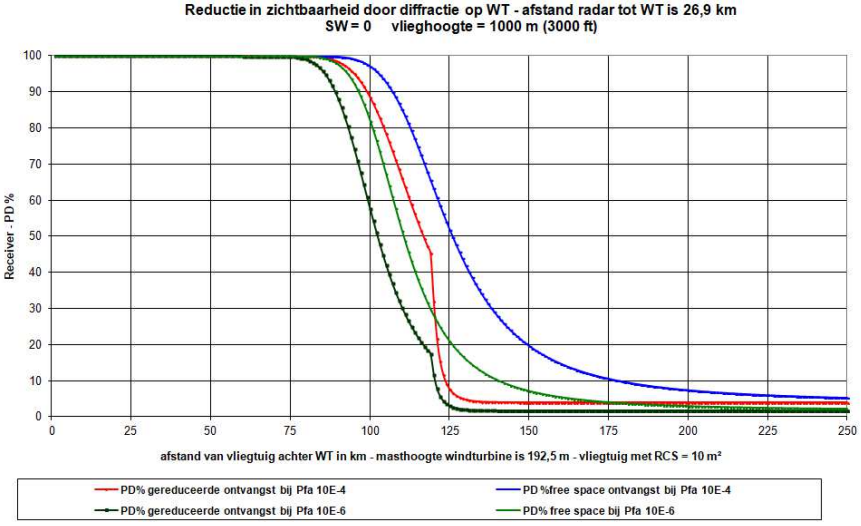


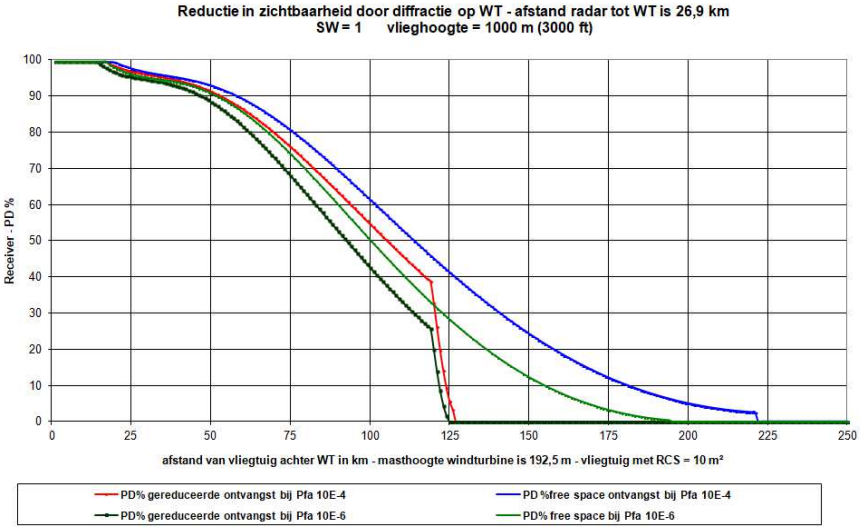

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

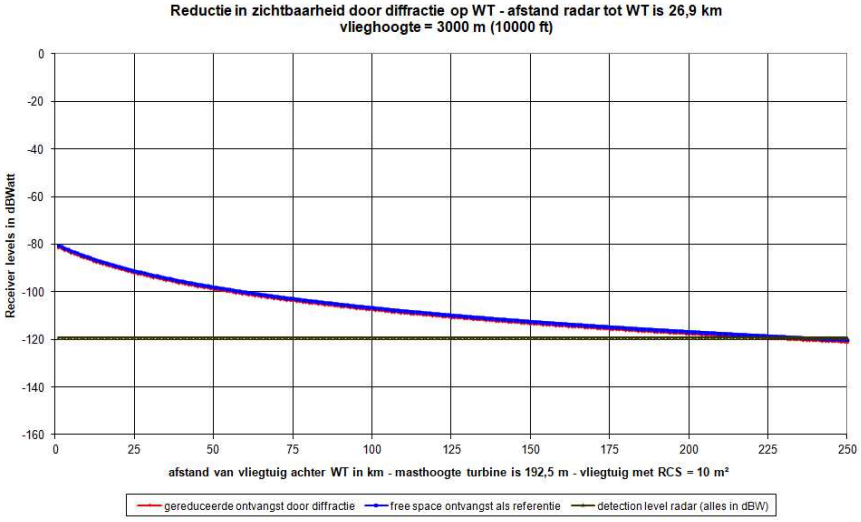

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

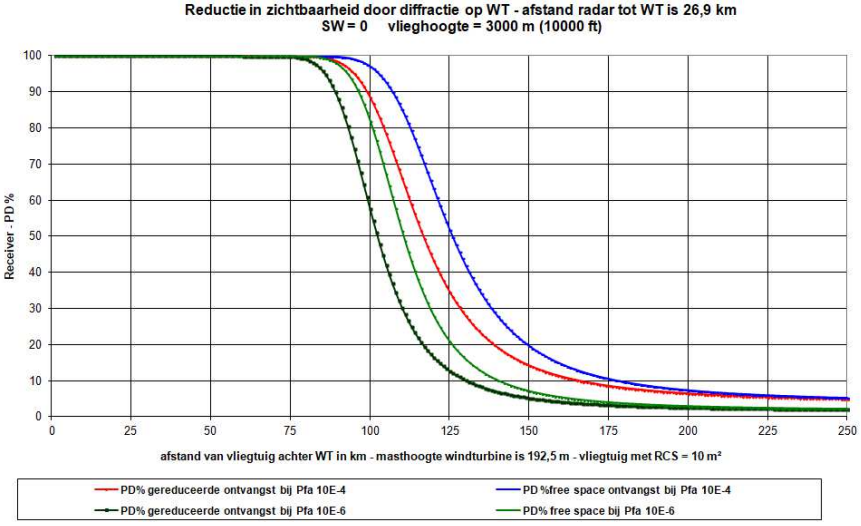

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

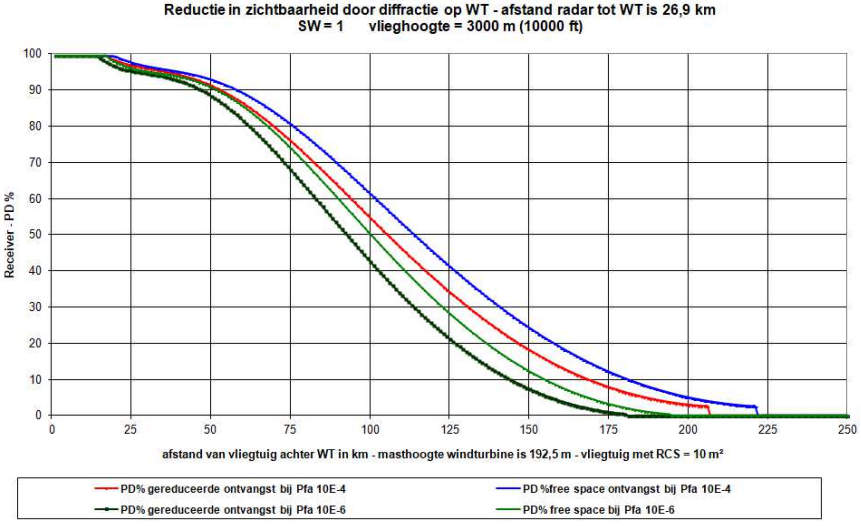

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

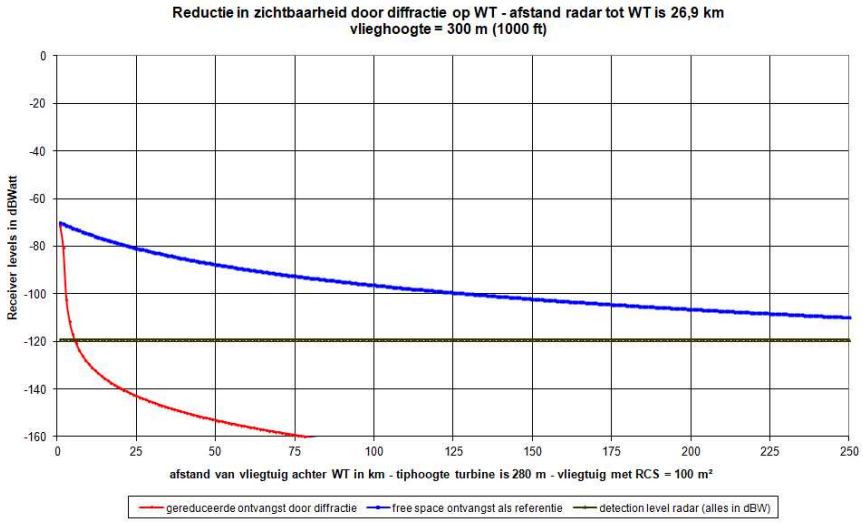

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

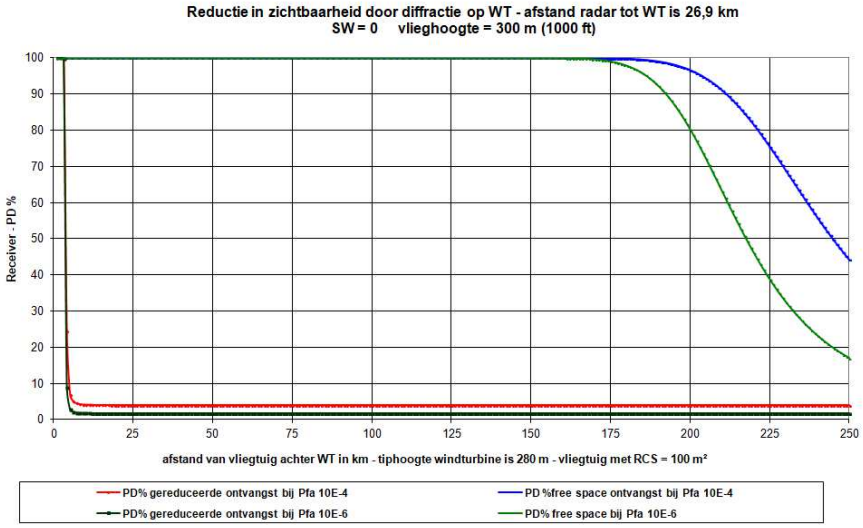

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte turbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

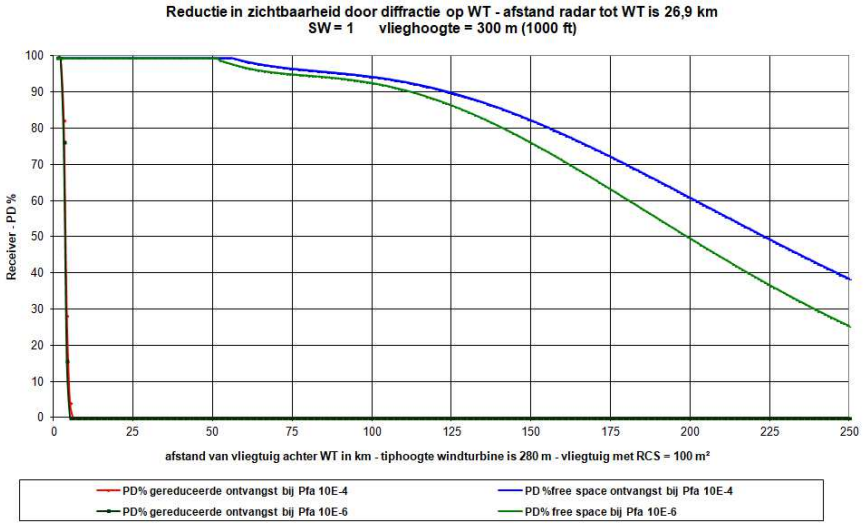

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

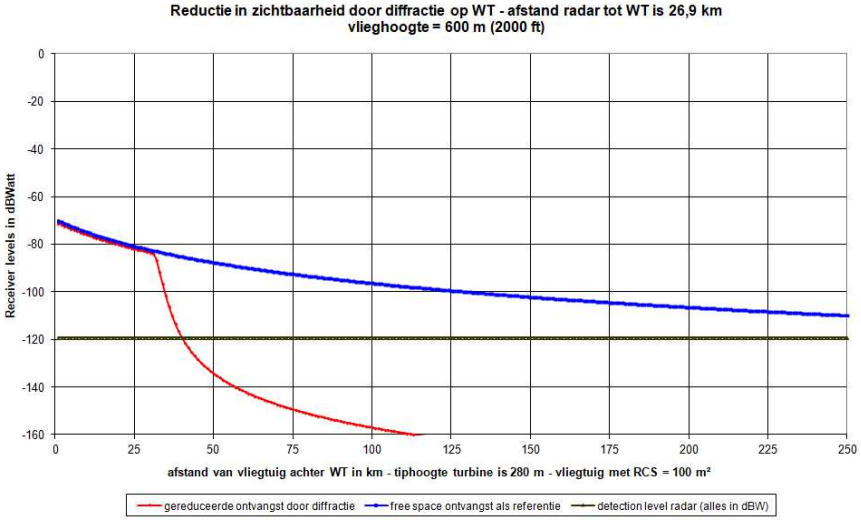

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - masthoogte windturbine is 192,5 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

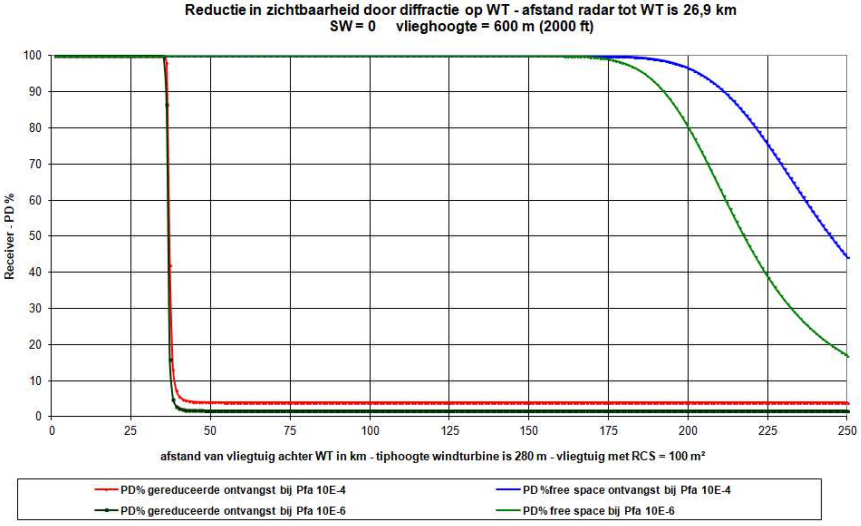
Tiphoogte WT 280 m – RCS 100 m²

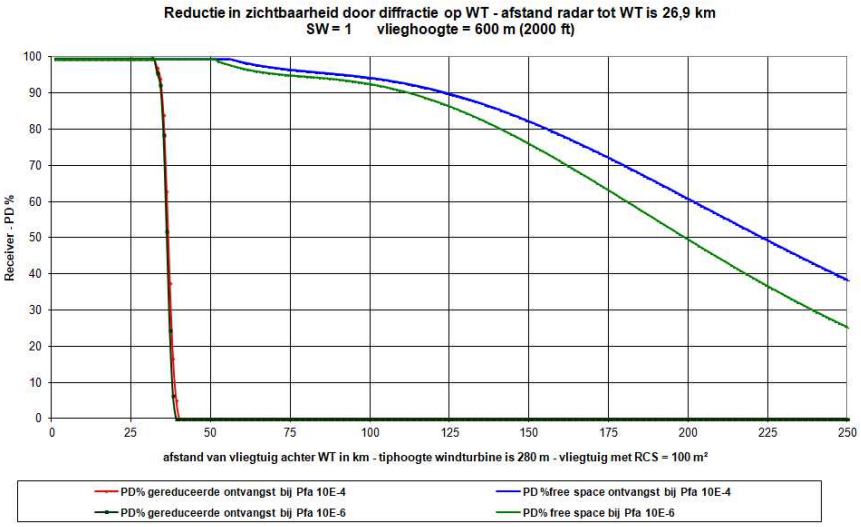


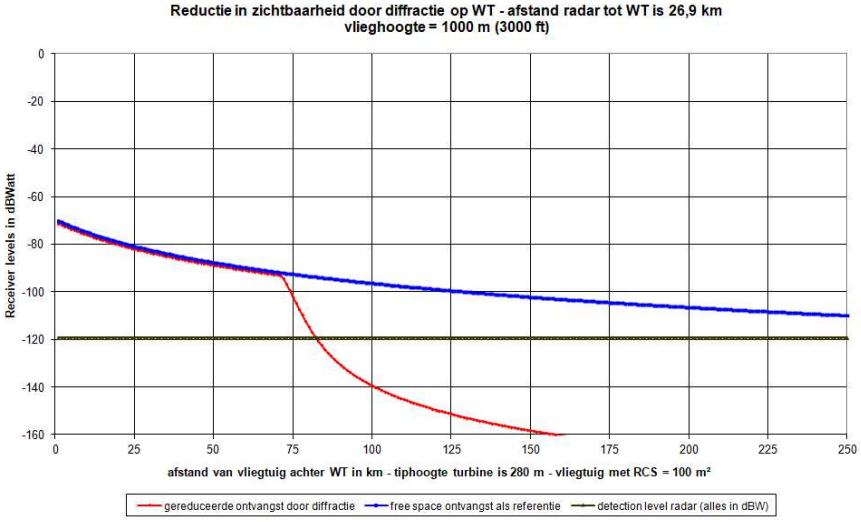


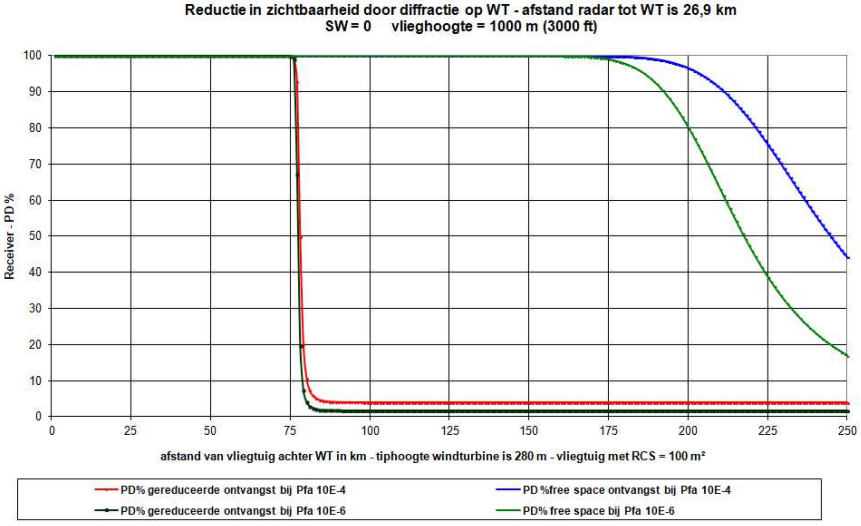


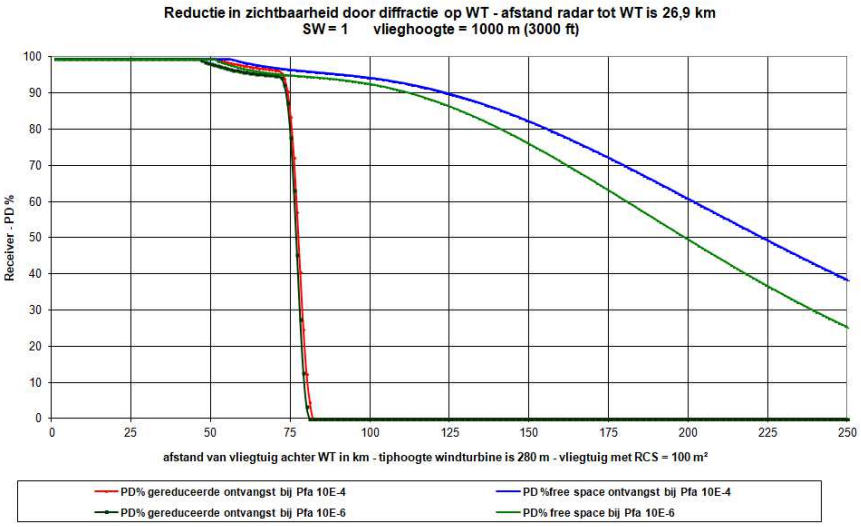

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

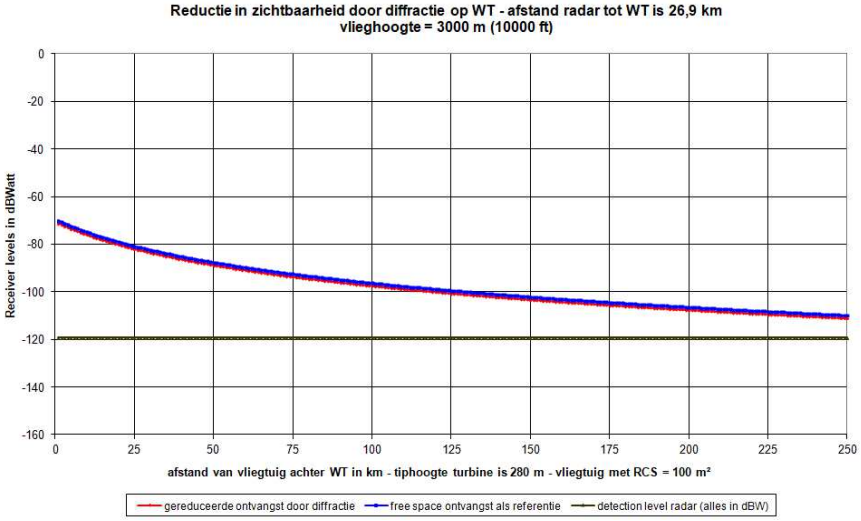

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

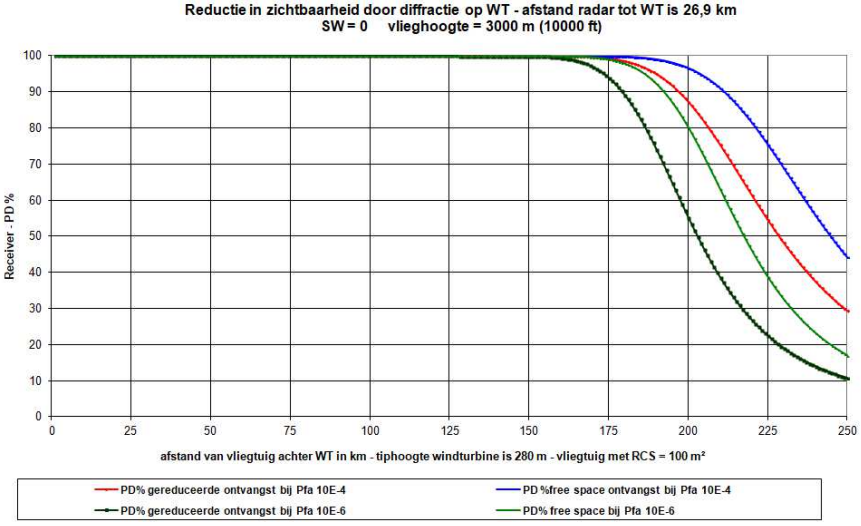

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

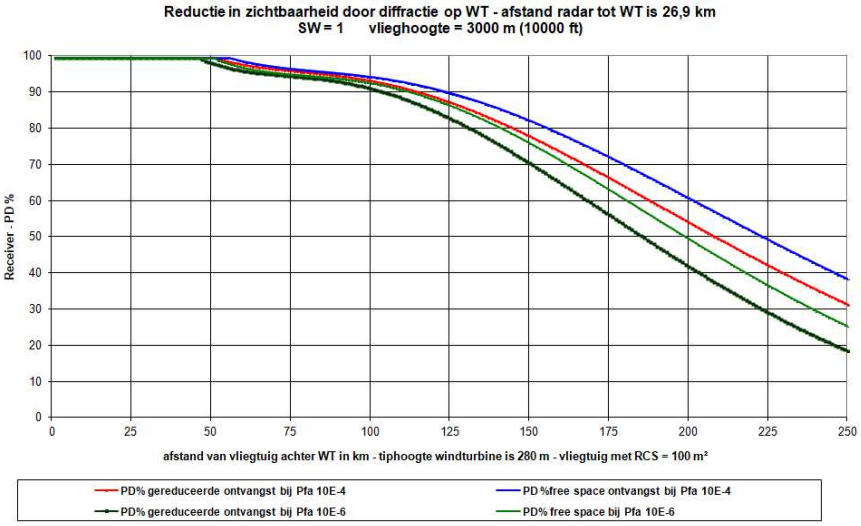

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

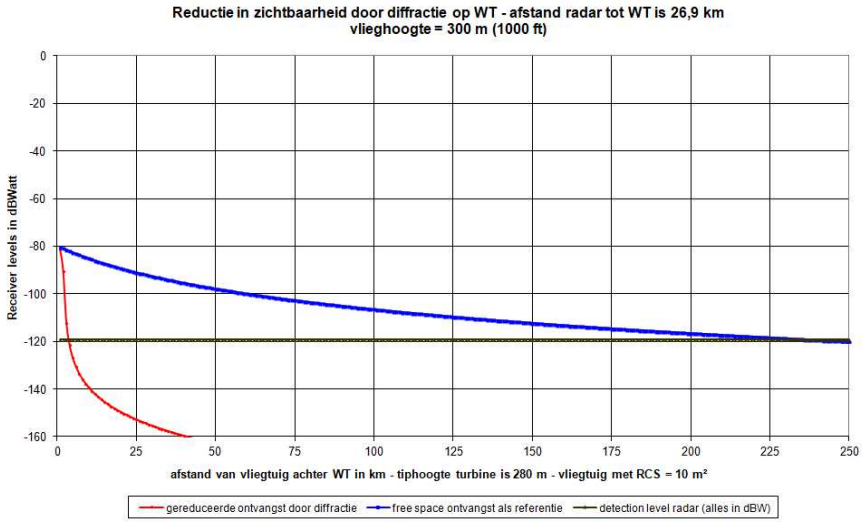

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

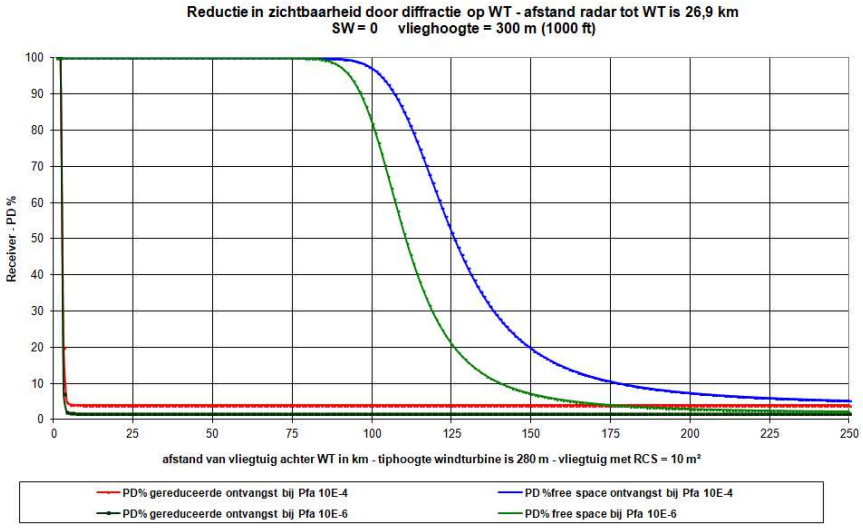

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

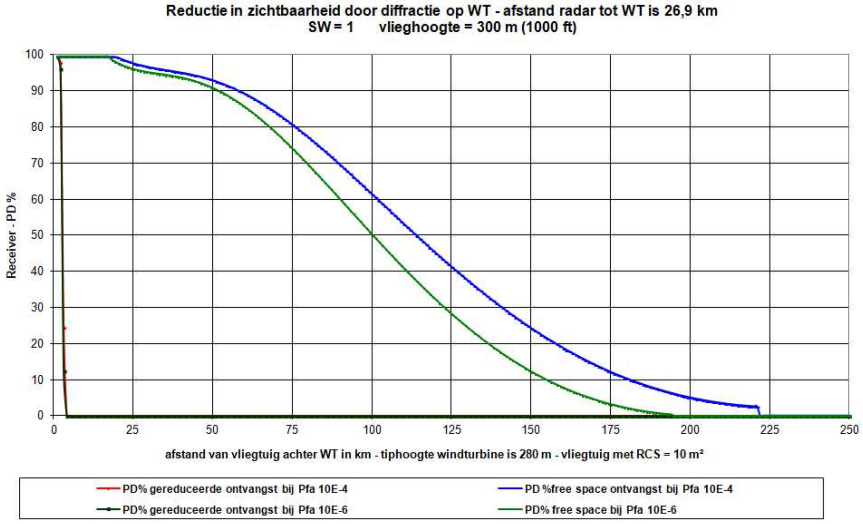

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

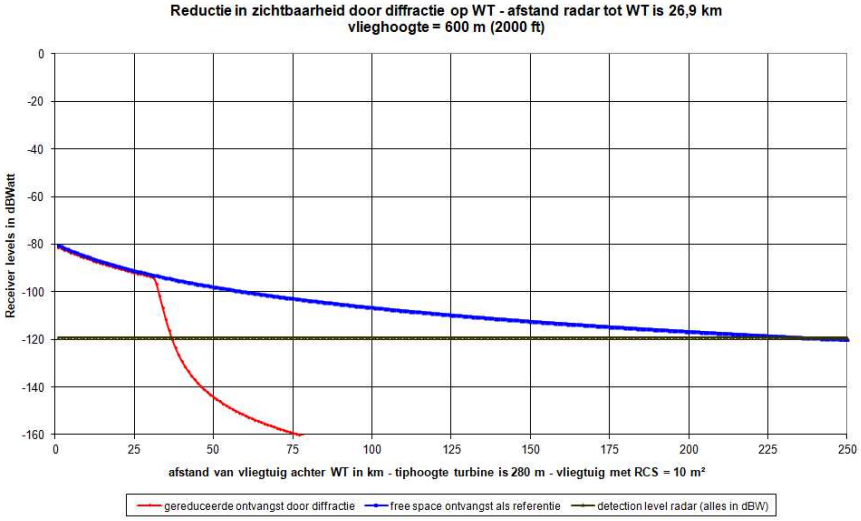

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 100 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

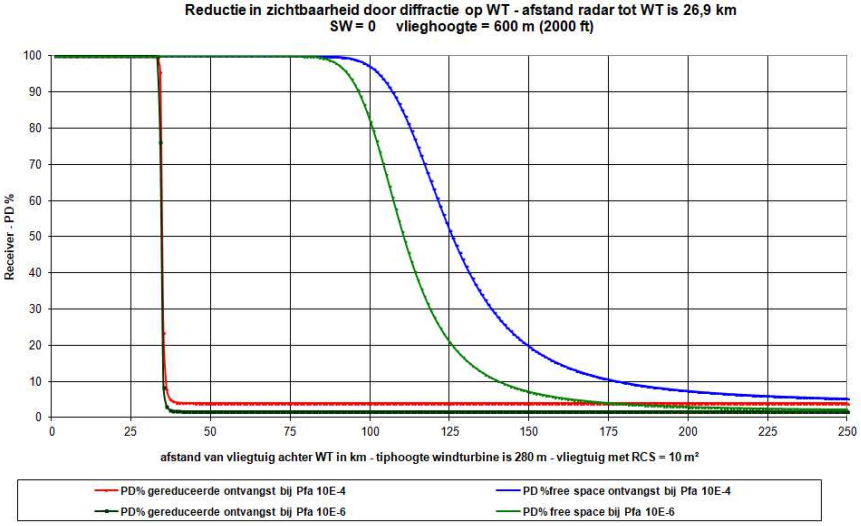
Tiphoogte 280 m – RCS 10 m²

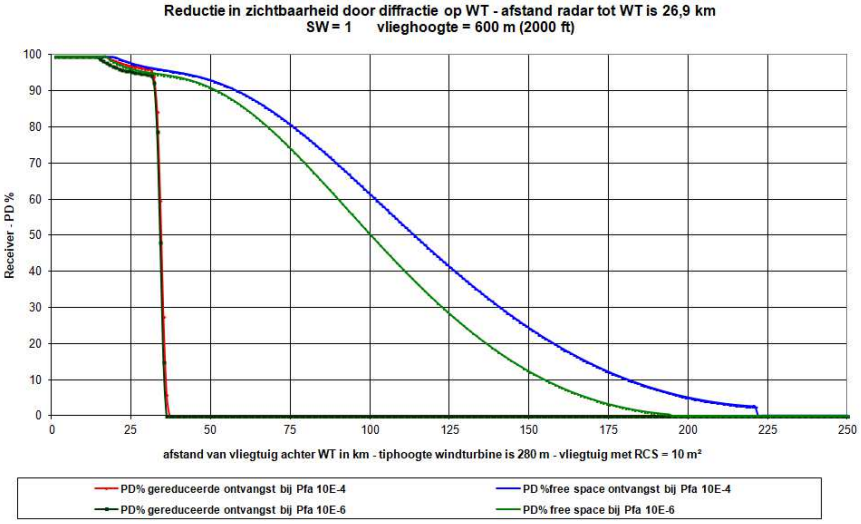


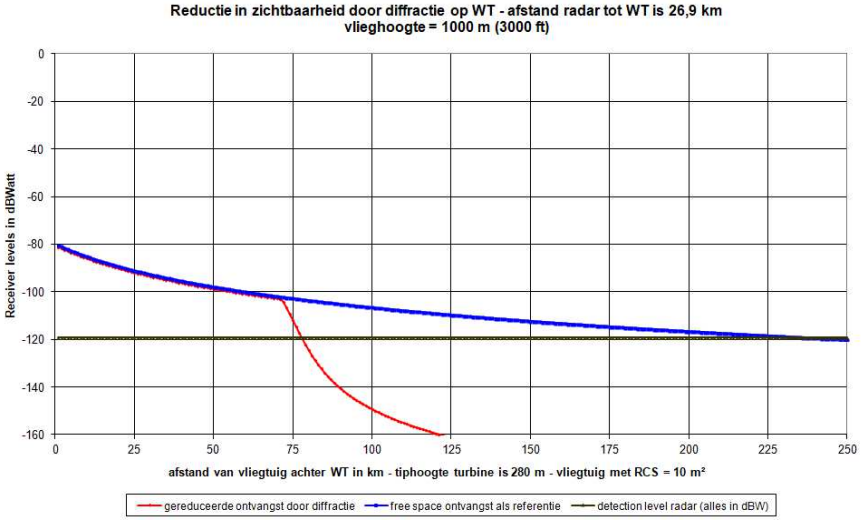


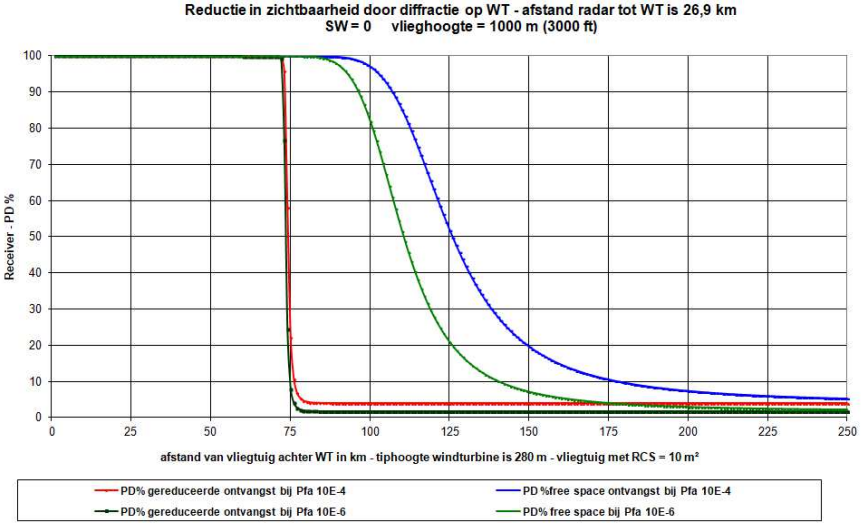


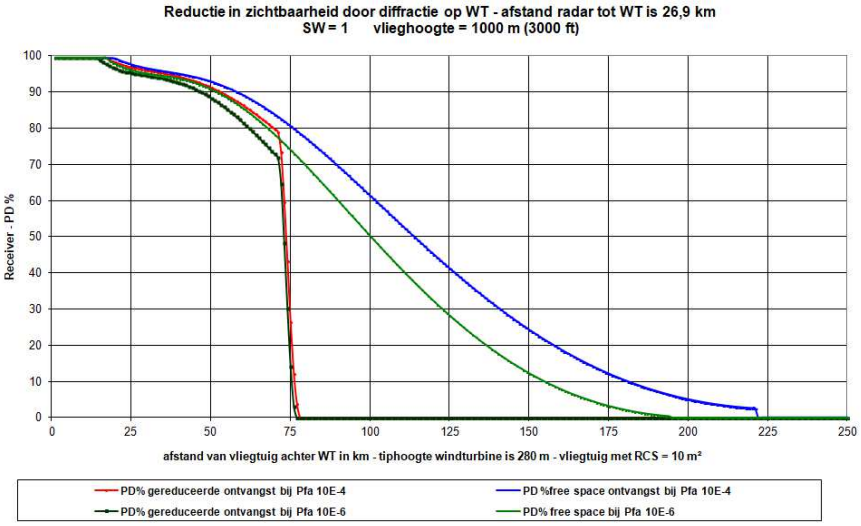

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)

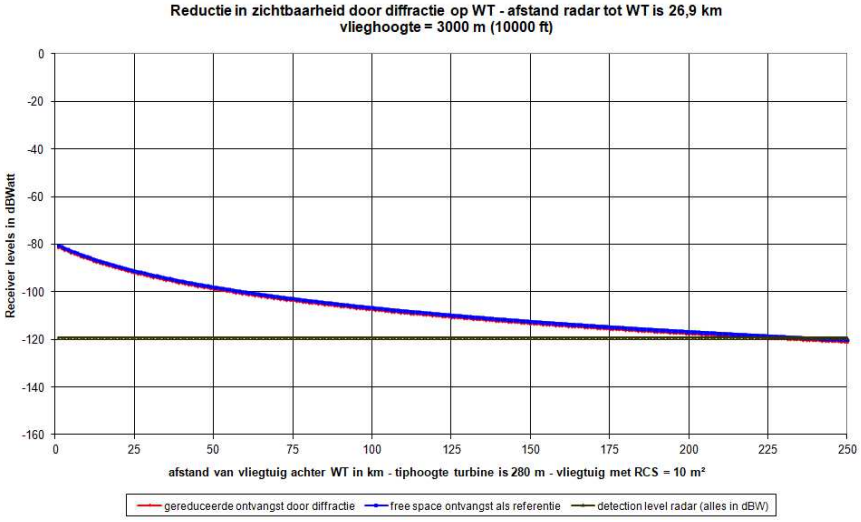

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

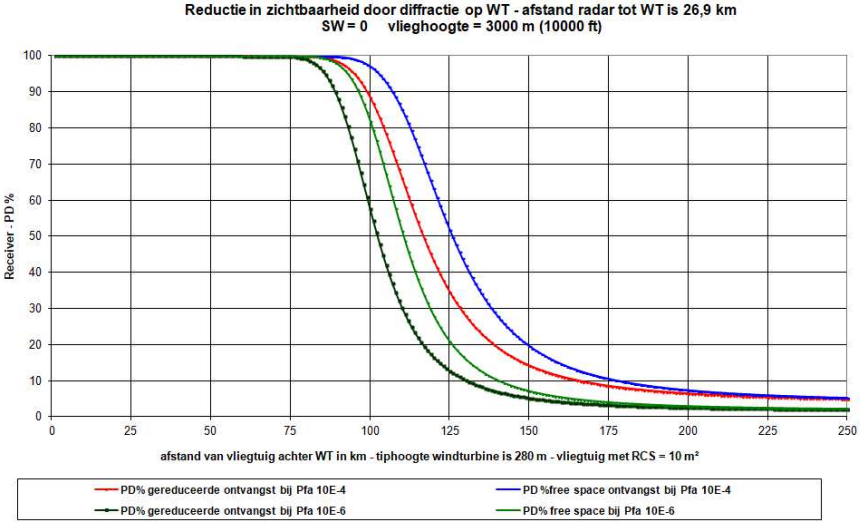

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

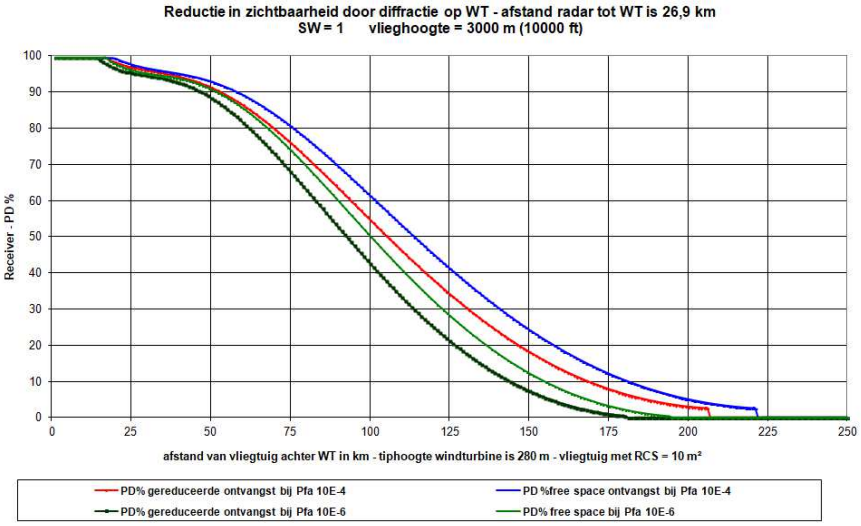

Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver levels in dBWatt
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte turbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
gereduceerde ontvangst door diffractie
free space ontvangst als referentie
detection level radar (alles in dBW)


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 26,9 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)
Receiver - PD %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
250
afstand van vliegtuig achter WT in km - tiphoogte windturbine is 280 m - vliegtuig met RCS = 10 m²
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-4
PD %free space ontvangst bij Pfa 10E-4
PD% gereduceerde ontvangst bij Pfa 10E-6
PD% free space bij Pfa 10E-6

Lijst van afkortingen

VHF **UHF**	Very High Frequency en Ultra High Frequency, geven de frequentiebanden aan van radio communicatie.
RF/HF	Radio Frequente en Hoog Frequente systemen
RDF	Radio Direction Finder, een systeem dat met behulp van richtingsgevoelige antennes en de nodige signaalverwerking, een peilrichting van een zender kan aangeven. Door vanop verschillende plaatsen te peilen, kan men uit het snijpunt van verschillende peilrichtingen, de plaats van een zender bepalen (in casu hier: van het schip)
dBm	Eenheid van vermogen, in een logaritmische schaal. 0 dBm is precies gelijk aan een vermogen van 1 milliWatt.
dBW	Eenheid van vermogen, in een logaritmische schaal. 0 dBW is precies gelijk aan een vermogen van 1 Watt (en ook gelijk aan 30 dBm).
- 3 dB	Deze waarde geeft aan dat nog slechts de helft van het vermogen beschikbaar is. Bij een radarbundelbreedte, wordt deze waarde gebruikt om de "openingshoek" van de radarbundel aan te geven, waarbij dus de helft van het vermogen beschikbaar is t.o.v. de hoeveelheid vermogen in de directe hoofdrichting van de radarbundel.
RCS	Radar Cross Section, of de oppervlakte van een object dat effectief een radarsignaal zal reflecteren.
CFAR	Continuous False Alarm Rate, een toestand van de radarwaarneming waarbij aangegeven wordt dat de tracking van een vliegtuig tijdelijk in de ruis verloren gaat (door clutter) of gemaskeerd is door een grotere reflectie
GOCA	Great over cell average, een algorithme om de ruis/clutter gedeeltelijk uit het radarsignaal te verwijderen
SOCA	Small over cell average, een algorithme om de ruis/clutter gedeeltelijk uit het radarsignaal te verwijderen

Referenties

Eurocontrol, Guidelines how to assess the potential impact of windturbines on surveillance sensors, 2010

C. Latham, Martello – A modern 3 D surveillance radar, The GEC Journal of Research, Vol. 3 No.2, 1985

E. Van Lil, Effecten van een windturbinepark in Gistel op de radar van EBOS, Telemic, KULeuven, 2004

Poupart G., Wind Farms impact on radar aviation interests, Qinetiq, FES W/14/00614/00/REP, September 2003

Perry J., Wind Farm clutter mitigation in air surveillance radar, IEEE A&E Systems Magazine, June 2007

Jackson C., Working successfully with aviation stakeholders to mitigate the risk of planning WT, April 2009

Pinto J., Radar Signature Reduction of Wind Turbines through the application of stealth technology, 2009

Greving G., Wind Turbines in the Radiation Field of Systems from a Prediction and Siting Point of View, 2007

Greving G., RCS – Numerical, Methodological and Conceptional Aspects for the Analysis of Objects, 2009

Greving G., On the Relevance of the Measured or Calculated RCS for Objects on the Ground, WT's , 2009

Greving G., Wind Turbines as Distorting Scattering Objects for Radar-Clutter Aspects and Visib

Frye et al., New measurement results for WT radar impacts together with aircraft overflight tests, Cassdian 2011, presented at the EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop in Brussels

Frye et al., WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Cassidian/EADS, October 2011

Rohling H., Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multi Target Situations, IEEE Trans. AES, Vol. 19, No.4

Richards M., Fundamentals of radar signal processing, McGraw Hill, en de bijhorende MIT cursus 'radar fundamentals' van R. O'Donell met de expliciete behandeling van Swerling, Marcum, Albersheim en Shnidman