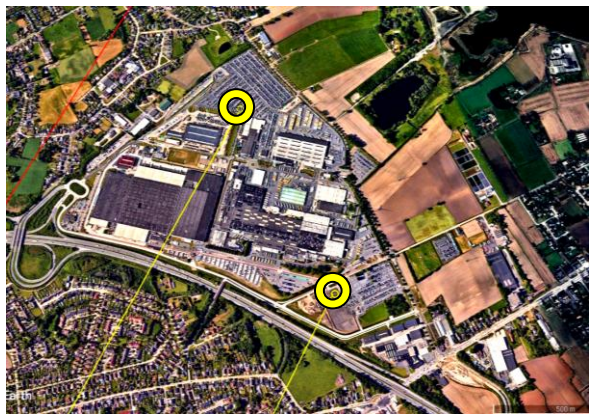


Studie omtrent de mogelijke impact van twee windturbines “Volvo Trucks” Gent op de radar van Semmerzake

Detailed Engineering Assessment volgens Eurocontrol Guide 130



In opdracht van Encon

Prof.dr.ir.J.Catrysse (07/08/2025)

Inhoudstafel

1. Inleiding
2. **Gegevens van de radarinstallatie en de geplande windturbine**
 - 2.1. Gegevens van de radarinstallatie
 - 2.2. Gegevens van de geplande windturbine
3. **Document van EUROCONTROL**
4. **Radardoorsnede (RCS) van vliegtuigen**
5. **Radardoorsnede (RCS) van windturbines**
6. **Vraagstelling bij een inplanting “Volvo Trucks” in de havenzone 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. **Studie PSR volgens §4.3 van het EUROCONTROL document**
 - 7.1. Generalities, saturatie van de ontvanger en LoS
 - 7.2. PSR shadowing achter de windturbines
 - 7.3. PSR valse echo’s van windturbines en andere objecten (vliegtuigen)
 - 7.4. PSR processing overload
 - 7.5. PSR raised thresholds, range en azimuth errors
8. **Studie SSR volgens §4.4 van het EUROCONTROL document**
 - 8.1. Probability of detection
 - 8.2. SSR false target reports
 - 8.3. SSR 2D position errors
9. **Conclusies**

Annex 1. Probability of detection (Swerling)

Annex 2. CFAR

Annex 3. VCC methodology (software reductie van de clutter)

Annex 4. Verminderde zichtbaarheid voor diverse RCS – masthoogte en tiphoogte

Annex 5. Verminderde zichtbaarheid – huidige 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 een uitgebreidere analyse, dan diegene 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 twee windturbines “Volvo Trucks” Gent op de radar van Semmerzake

Detailed Engineering Assessment volgens Eurocontrol Guide 130

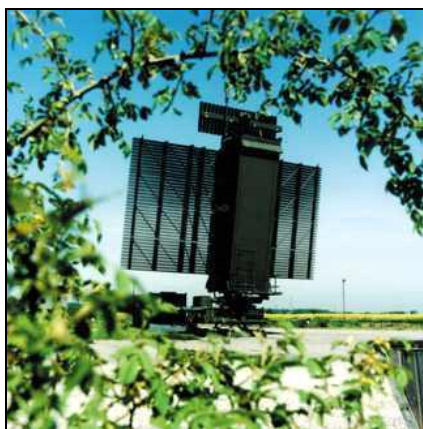
1. Inleiding

Voor het inplanten van twee windturbines, op de terreinen van “Volvo Trucks”, in de havenzone van 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. Dit project betreft een vervanging van de drie aanwezige/in uitbating windturbines op deze terreinen.

Deze studie is een uitgebreidere analyse, die nodig is wegens recente richtlijnen omtrent de luchtvaart in België, volgens het EUROCONTROL-GUID-0130 document: “*Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*”, en dat ook als richtlijn door Defensie gehanteerd wordt. Hierbij dient ook aangestipt te worden dat volgens deze procedure, een overleg tussen de verschillende partijen nodig is.

2. Gegevens van de radarinstallatie en van de geplande windturbine

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



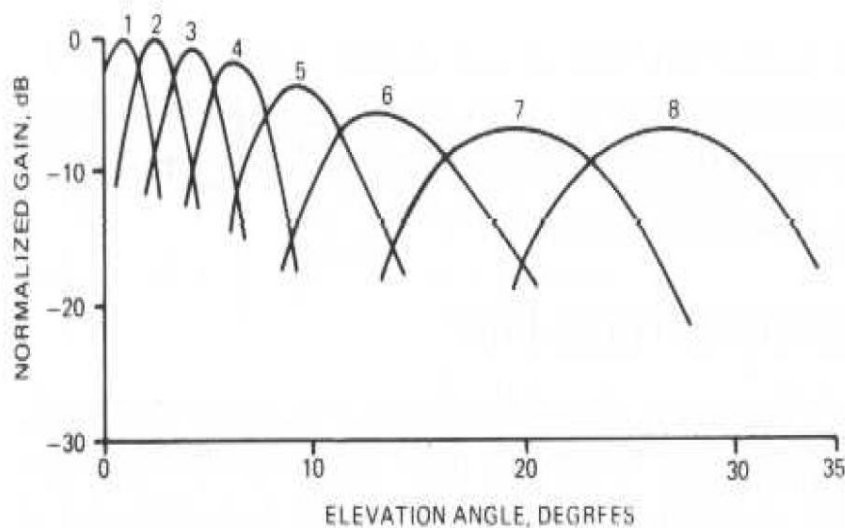
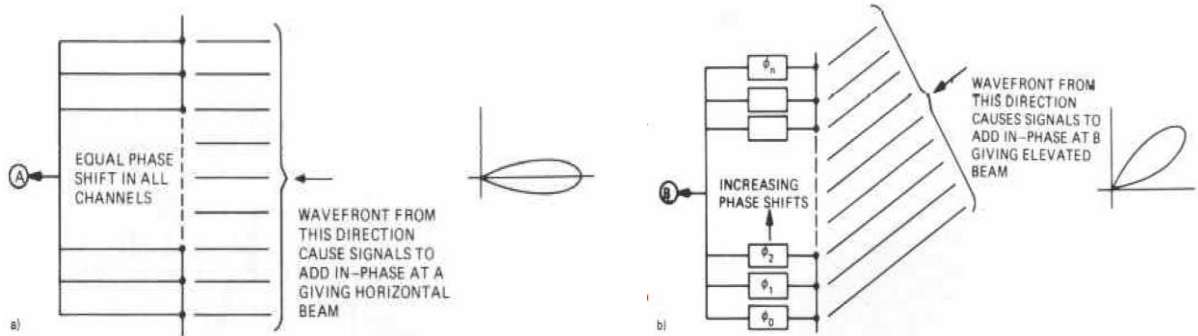
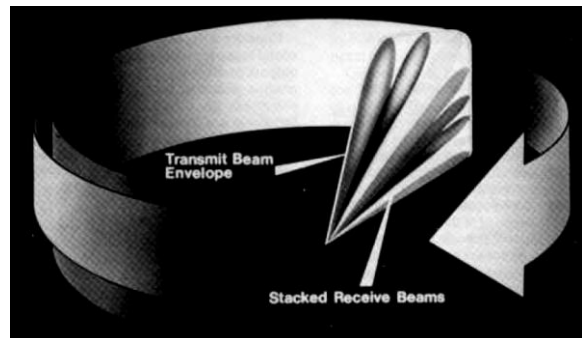
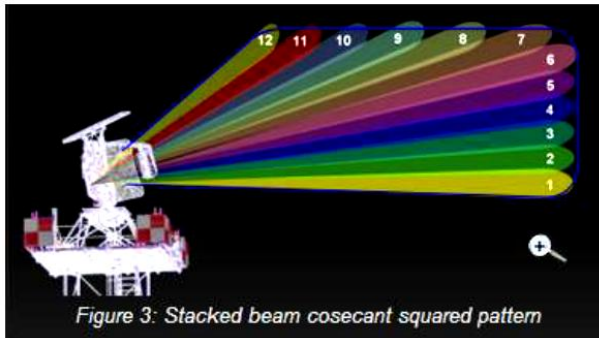
De primaire radar (PSR) bestaat uit een hele reeks kleine antennes, die in rijen en kolommen gebouwd zijn, en elk afzonderlijk kunnen gevoed en aangestuurd worden (phased array antenna).

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:

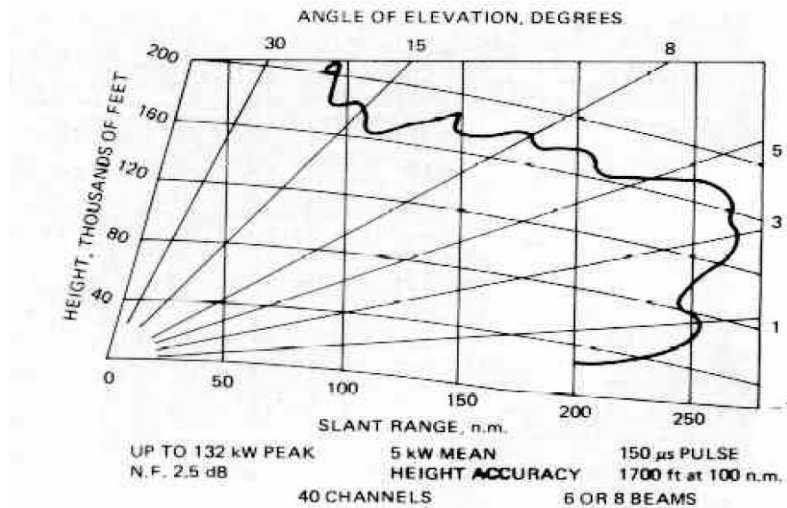
frequentiegebied	IEEE L-band (Nato D): 1 – 2 GHz
reikwijdte	256 Nm (450 km) bij voldoende RCS
elevatie	tot 20°
- 3 dB bundelbreedte	1.6°
verticale detectie	3D positiebepaling via meerdere bundels
antenne gain	40 dB
zijlobe onderdrukking	> 30 dB
gevoelighed receiver	- 125 dBW noise en – 119 dBW detection

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.

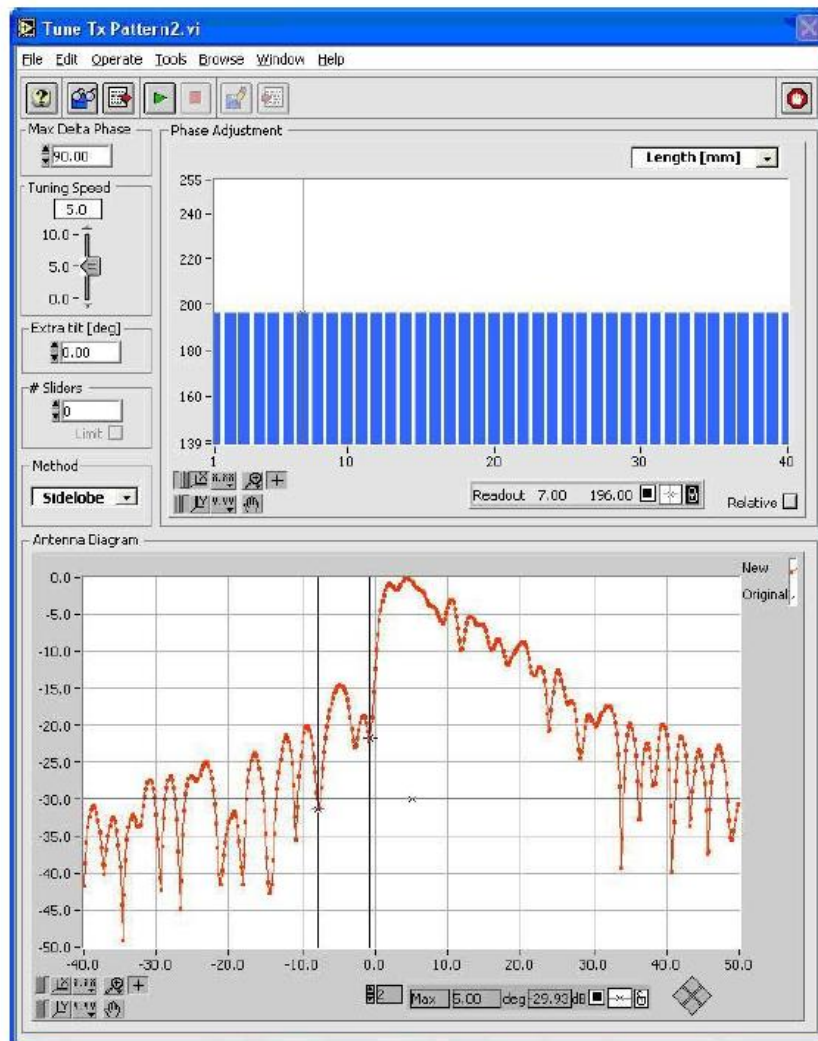


Voor de Marconi S723 worden daarbij typisch 8 bundels gegenereerd, met een eigen bundelbreedte in functie van de elevatiehoek.

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 18,5 km is dat zowat 320 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 800 meter op 18,5 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.

Bovendien is er een secundaire radar aanwezig (SSR), waarvan de generieke kenmerken in de volgende tabel gegeven worden.

Frequentie	1030 (up) en 1090 (down) MHz
Peak Power ground station	62 dBm (1.5 kW)
Pulsbreedte van de modulatie	Pi pulsen voor mode A/C & S
Puls-herhalingsfrequentie	1 KHz
Draaisnelheid	15 tpm
Polarisatie	lineair en circulair
Gain	24 dBi
Noise floor van de receiver	- 120 dBW
Zijlobe-onderdrukking	> 25 dB
Bereik	> 60 nautische mijl (NM)
Openingshoek horizontaal	- 3 dB : 2.4°
Openingshoek vertikaal	cosec ² diagramma
Tilt van de bundel	---
Hoogte van de antenne	7 meter AGL - raming
Peak Power transponder	200 Watt
Gevoeligheid transponder	- 71 dBm / - 74 dBm

2.2. Het type windturbine voor het project “Volvo Trucks”

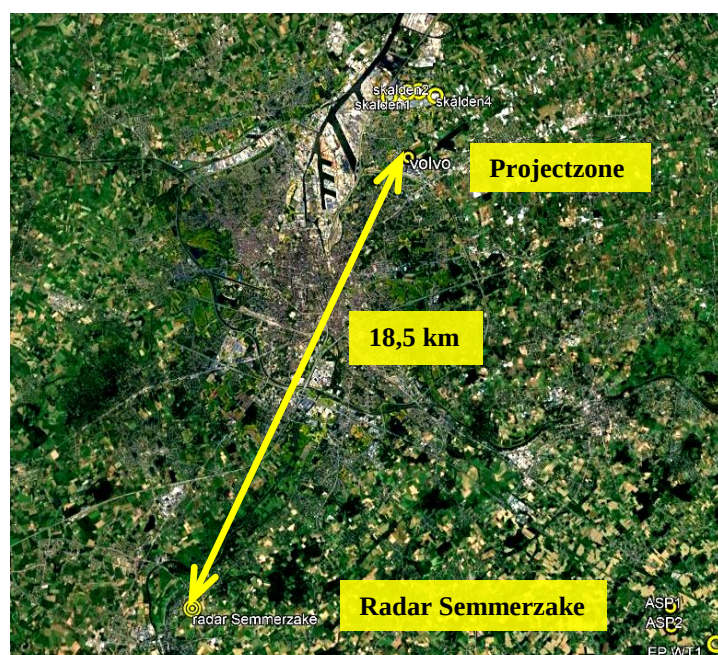
Het exacte type windturbine is voor dit project nog niet definitief vastgelegd, waarbij een en ander zal afhangen van zowel de technische specificaties en mogelijkheden, als de financiële impact omtrent de investeringen. Een belangrijk aspect is hierbij ook het moment van het verkrijgen van een onherzienbare en beroepsvrije vergunning.

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 met een “eerste keuze” (XXX) en een “tweede optie” (YYY), als eventueel alternatief in functie van de beschikbaarheid/leverbaarheid van de windturbines “XXX”.

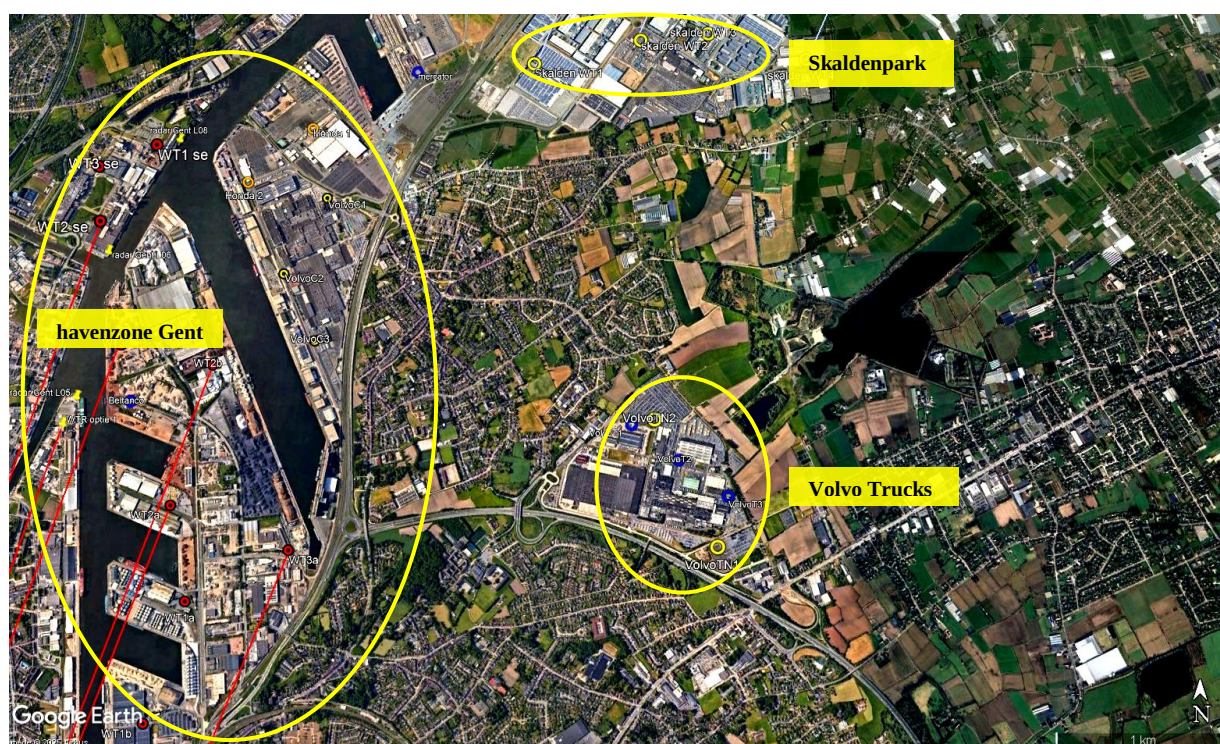
TYPE	Rotordiameter	Masthoogte	Tiphoogte	Mast laag	Mast hoog
XXX	175 m	max 145 m	max 225 m	8 m Φ max	6 m Φ max
YYY	160 m	max 112 m	max 200 m	8 m Φ max	6 m Φ max

De nieuwe windturbines hebben een inplanting zoals in de volgende tabel:

Lambert 72 coördinaten	x	y	NB	OL
WTN1	109341	197422	51°5'07.78”	3°47'18.51”
WTN2	108978	198193	51°5'32.63”	3°46'59.55”



De volgende figuur toont een globaal overzicht van windturbines in deze omgeving van het havengebied Gent.

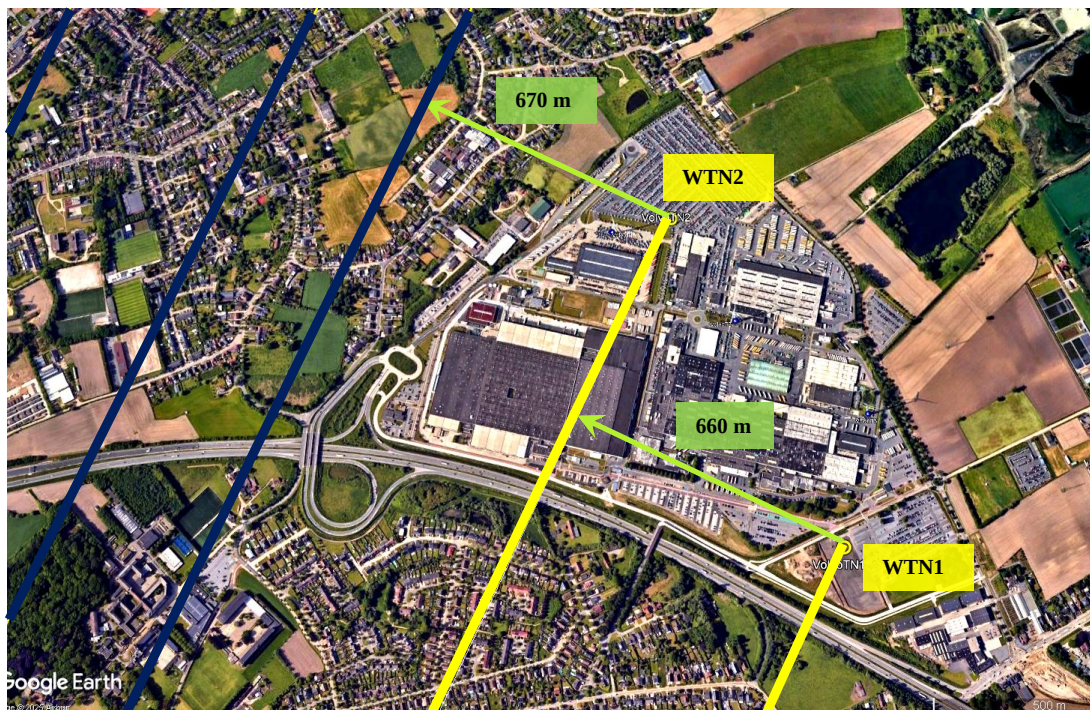
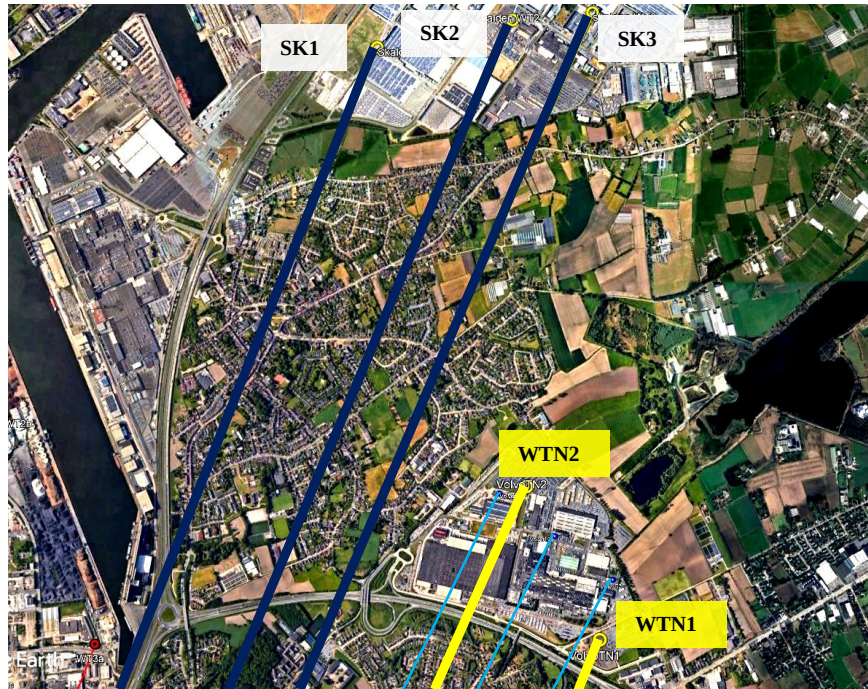


Het is duidelijk dat de windturbines gelegen in de feitelijke havenzone niet dienen meer in beschouwing genomen te worden, gezien de afstand tussen deze zone en de terreinen van Volvo Trucks. Wel dient aandacht besteed van een verder gelegen windpark “Skaldenpark”.

Er dient nog opgemerkt te worden dat dit project met twee windturbines de vervanging betreft van de drie aanwezige windturbines op de terreinen van Volvo Trucks. Deze windturbines dienen dus in deze analyse niet meegenomen te worden. Wel wordt voor de volledigheid van dit rapport ook de huidige situatie ten opzichte van de radar in Semmerzake mee in kaart gebracht, en dit ter vergelijking.

De volgende figuur toont de directe omgeving voor dit project, met de radarassen voor de installatie van Semmerzake:

- gele radarassen voor dit project
- licht-blauwe radarassen voor de huidige windturbines “Volvo Trucks” (referentie)
- donderblauwe radarassen voor de windturbines “Skaldenpark SK1/3” in ontwikkeling



Uit de vorige figuren blijkt dat er geen cluster kan ontstaan tussen de radarassen naar Skaldenpark SK1/3, en specifiek Skalden SK3 en Volvo Trucks WTN2 (670 m) ten opzichte van de rotor, maar waarbij het Swerling 1 model mag toegepast worden, en ook niet onderling voor het project Volvo Trucks WTN1/2 (660 m).

De gegevens van de Skaldenpark windturbines worden in de volgende tabel gegeven, evenals de gegevens van de huidige windturbines op de terreinen van Volvo Trucks (als referentie).

locatie	type	rotordiameter	masthoogte	tiphoogte
huidige Volvo Trucks	E82	82 m	98 m	139 m
Skaldenpark	xxx	179 m	175 m	max 266,5 m

coördinaten	X	Y	NB	OL
Volvo WT1	108839	198162	51°5'31.66"	3°46'23.31"
Volvo WT2	109121	197945	51°5'24.64"	3°47'07.00"
Volvo WT3	109416	197720	51°5'17.57"	3°47'22.19"
SK1	108182	200582	51°6'49.73"	3°46'17.66"
SK2	108927	200927	51°6'54.87"	3°46'55.90"
SK3	109379	200379	51°6'56.25"	3°47'18.66"

Het is duidelijk dat de twee “nieuwe” windturbines op de terreinen van Volvo Trucks Gent onderling als alleenstaand kunnen beschouwd worden, evenals tegenover het windturbine Skaldenpark SK1/3 en Volvo Trucks WTN2.

3. Document van EUROCONTROL-GUID-0130

Een nieuwe richtlijn stelt een Detailed Engineering Assessment (DEA) tot 22 km afstand, bij tiphoogtes van meer van 230 m, volgens 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

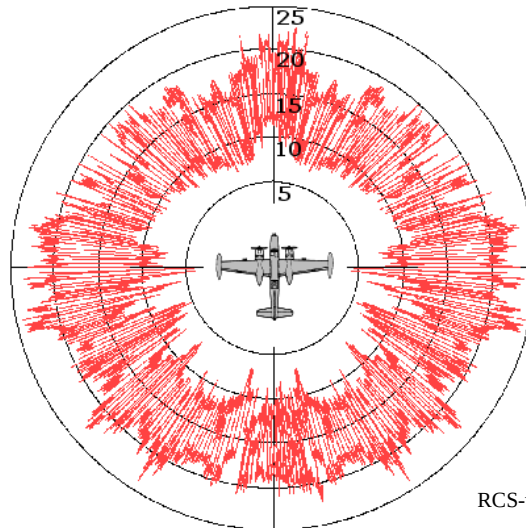
Zone	Zone 1	Zone 2	Zone 4
Description	0 - 500 m	500 m - 16 km but within maximum instrumented range and in radar line of sight	Further than 16 km or not in radar line of sight
Assessment Requirements	Safeguarding	Detailed assessment	No assessment

Table 2: SSR recommended ranges

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 (hier windturbines).

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.

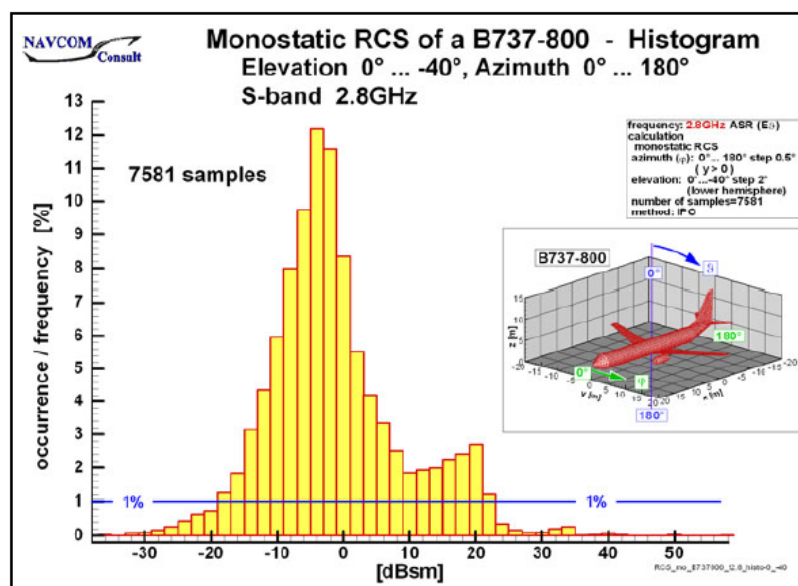


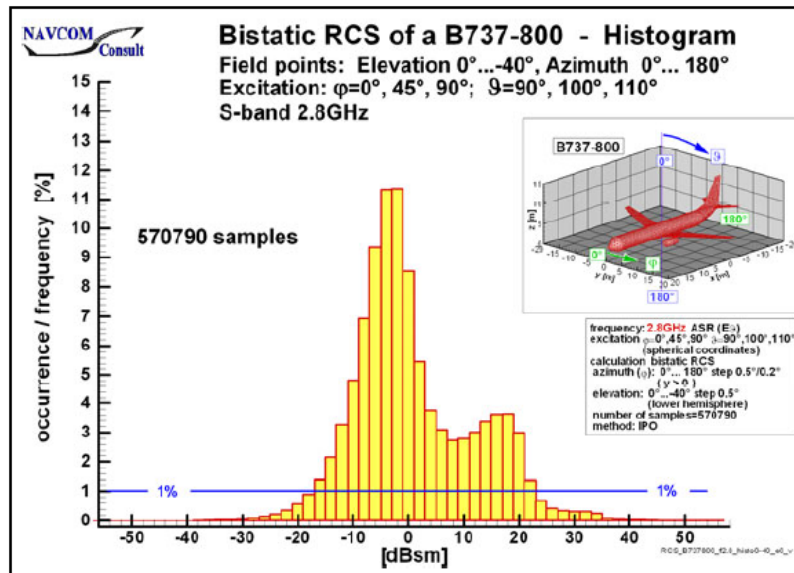
RCS-waarden in dB square meter (dBsqm)

Hieruit blijkt dat de (bistatische) RCS waarde van een vliegtuig geen vast getal is, maar varieert volgens de inval- 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 100m^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).

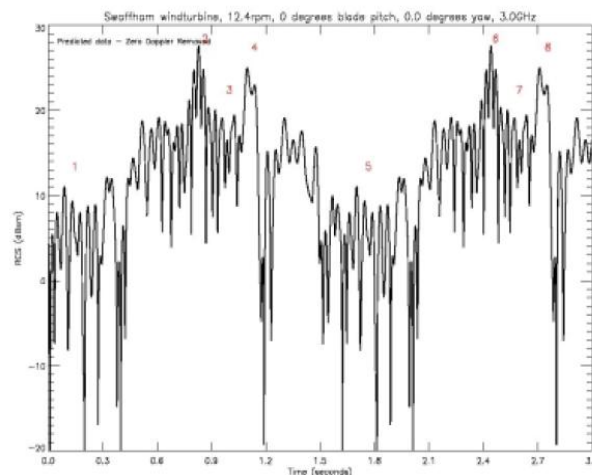
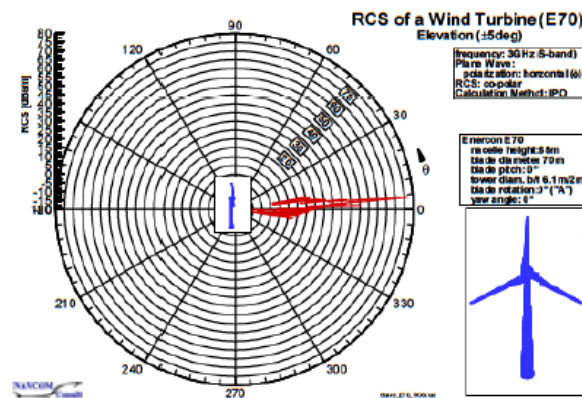
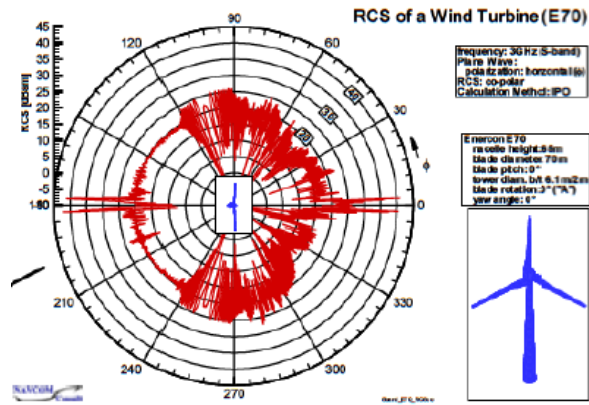


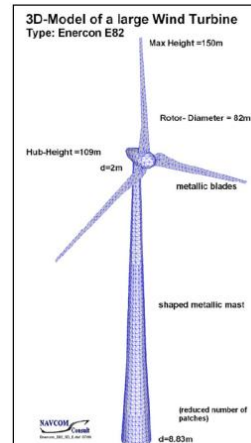
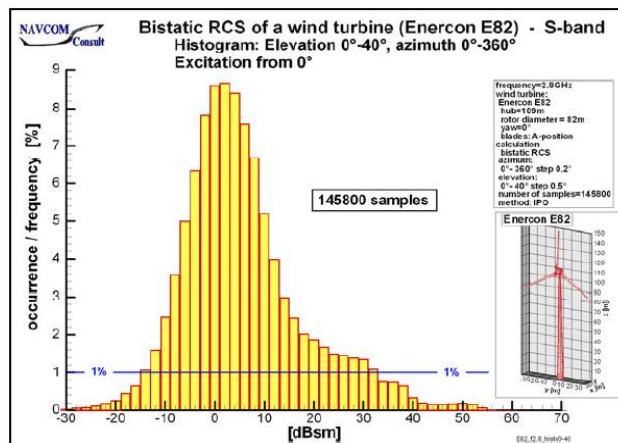
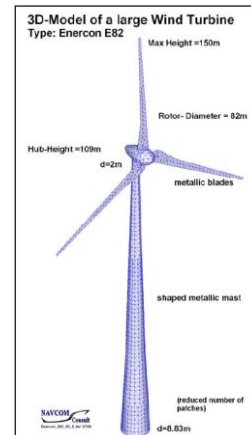
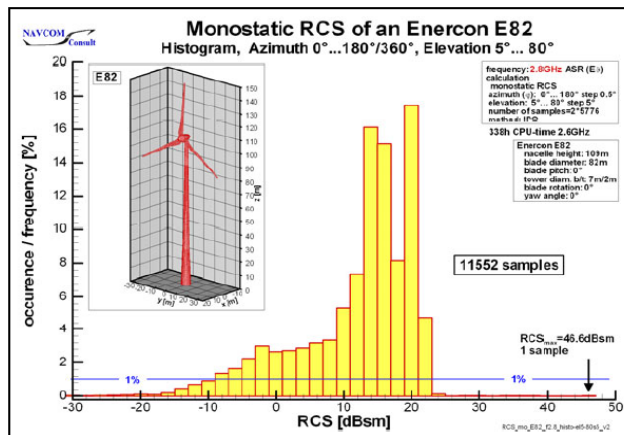
Figure 4-5: The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

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.

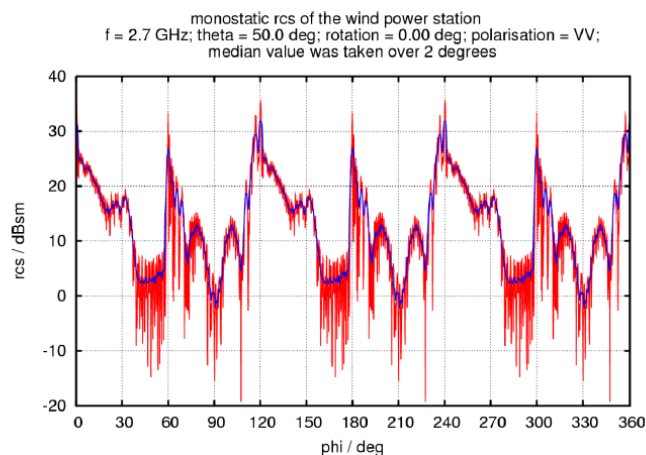
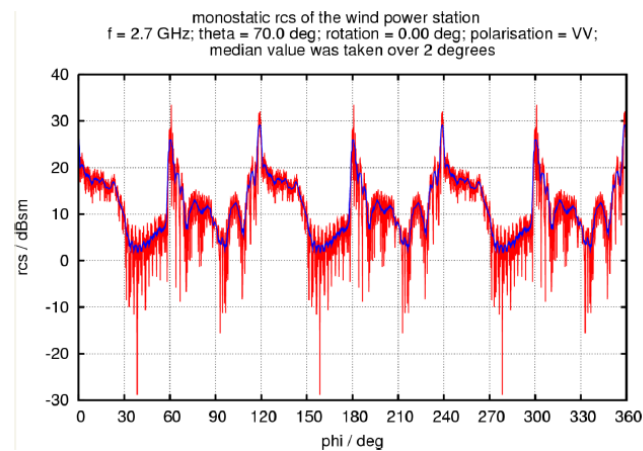
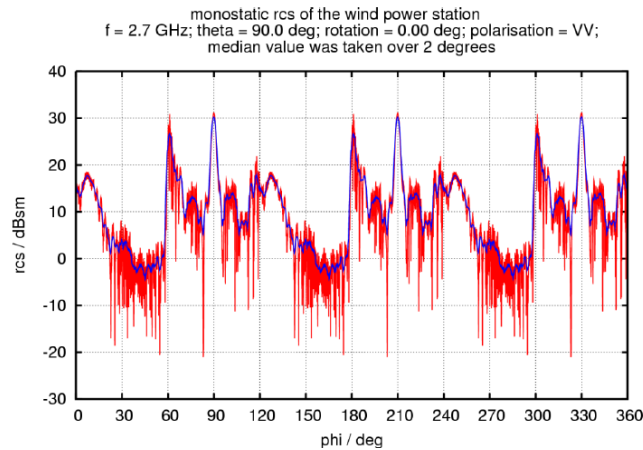


Uit beide studies blijken gelijkaardige waarden voor de RCS van grote windturbines, maar ook een grote afhankelijkheid van de juiste stand van de rotor, zodat dus met een erg tijdsafhankelijke variërende waarde van de RCS dient rekening gehouden te worden.

Alhoewel de huidige windturbines beduidend grotere afmetingen hebben, kunnen de aangegeven RCS waarden nog altijd als voldoende representatief beschouwd worden, omdat gemiddeld – voor een meerassen-radar zoals dit voor Semmerzake het geval is – de mast niet volledig bestraald wordt.

Het Swerling 1 model mag hierbij toegepast worden.

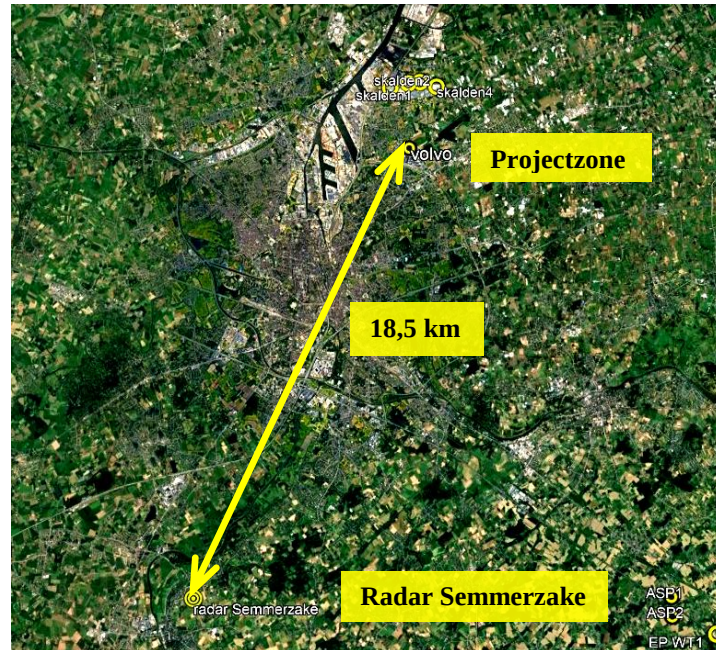
Een studie van Cassidian [Frye et al., 2008] toont ook de variaties van de RCS waarden voor verschillende oriëntaties van de rotor, waaruit eenzelfde grootte-orde van RCS blijkt.



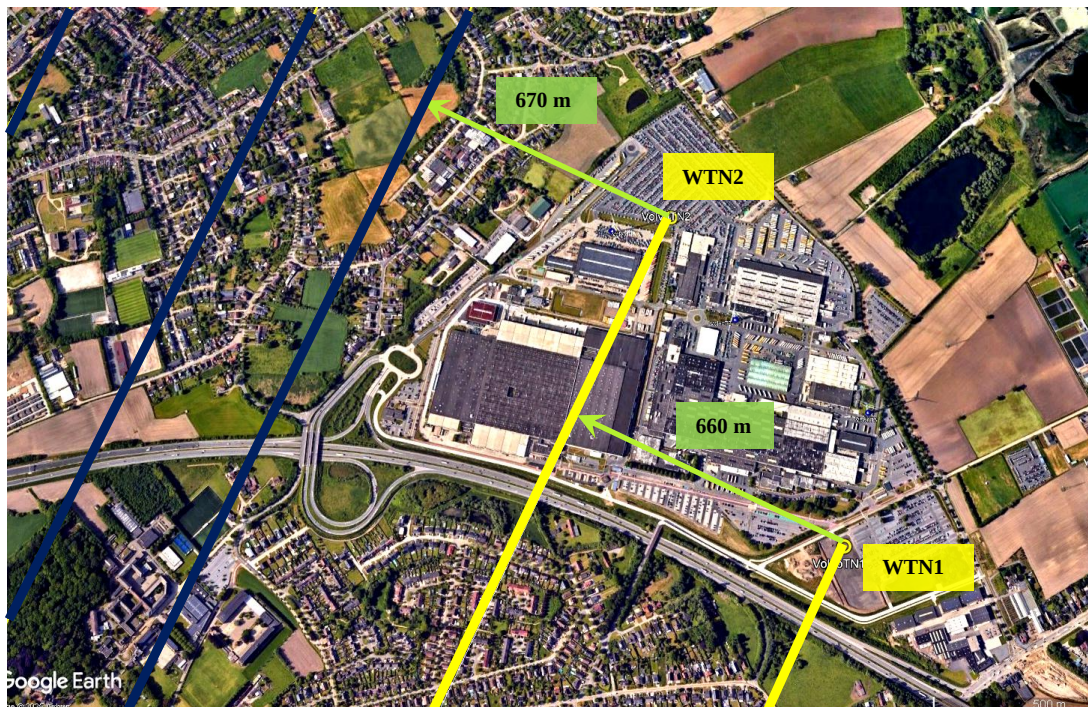
6. Vraagstelling bij een inplanting op de terreinen van Volvo Trucks Gent

In onderhavig dossier dient een en ander in het perspectief gesteld van een praktische realisatie van een project, met inplanting van twee windturbines op de terreinen van Volvo Trucks in de havenzone Gent.

De inplanting wordt in de volgende figuren nogmaals aangegeven.



De afstand tot de radarinstallatie van Semmerzake en de nieuwe windturbines is 18,5 km.



De voornaamste effecten worden hierna kort geïdentificeerd en algemeen besproken.

6.1. PSR

6.1.1. Line of Sight (LoS)

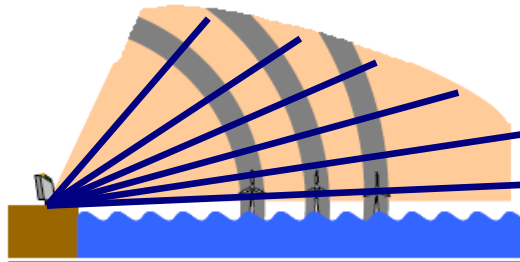
Eerst en vooral wordt een overzicht gegeven van de “Line of Sight” van een project.

Alhoewel de radarinstallatie van Semmerzake temidden 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.

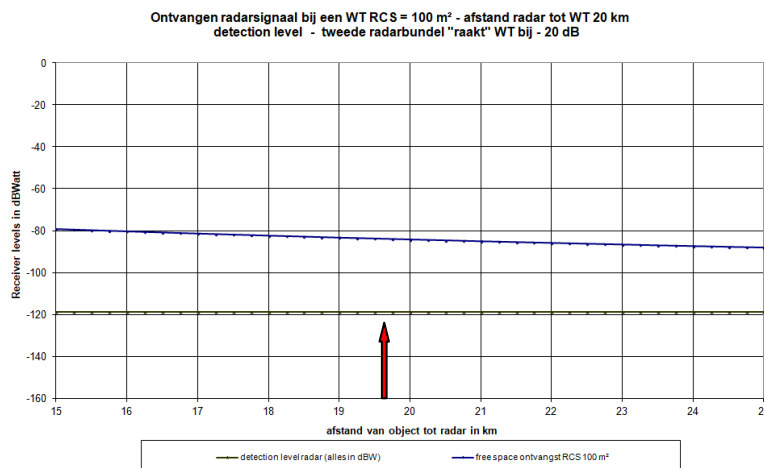
Uit bovenstaande (rudimentaire) gegevens van de radar kan afgeleid worden dat in verticale richting het stralingspatroon relatief egaal is (cosecant squared), zodat zelfs relatief kleine obstakels met een geringe hoogte nog steeds met het volle beschikbare vermogen zullen bestraald worden.

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 en op 18,5 km is dat zowat 320 meter. Dit betekent dat voor deze laagste radarbundel, bij obstakels met een geringe hoogte, de normale ontvangstgevoeligheid dient aangenomen te worden.

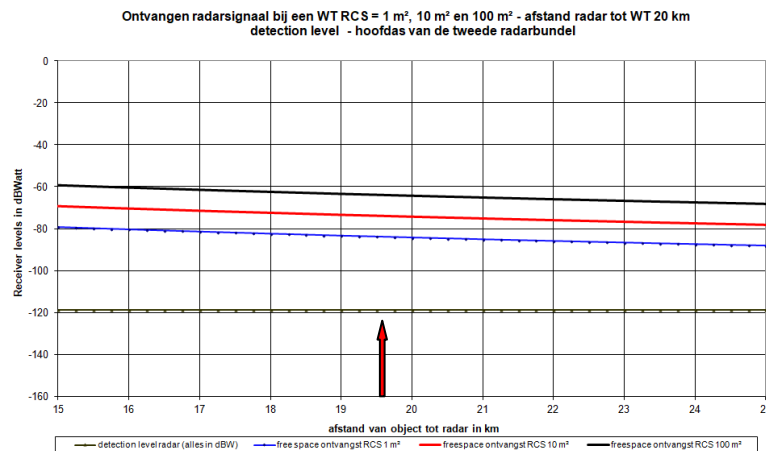
De tweede bundel heeft een elevatiehoek van 2.5° , wat overeenkomt met een hoogte van 650 meter op 15 km afstand en 800 meter op 18,5 km. Men mag aannemen dat op grondniveau de ontvangstgevoeligheid met 10 à 20 dB gedaald zal zijn. Dit betekent in de praktijk dat voor deze tweede bundel, bij obstakels 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 20 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 het ontvangen signaal van de (tweede) hoofdbundel voor een object met een RCS = 1 m², 10 m² en 100 m² (en rekening houdend met de frequentie-afhankelijke eigenschappen van de RCS waarden).



Hieruit blijkt dat een object met een RCS = 1 m² op de bundelas, precies gemaskeerd zal worden door de windturbine op een lagere hoogte, voor wat de tweede radarbundel betreft. Dit zal zich voordoen op de locatie van de windturbine. De bundels met een hogere elevatie zullen niet meer beïnvloed worden.

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.

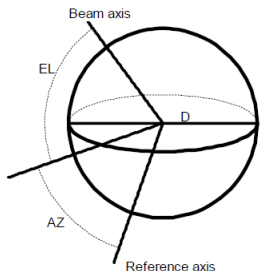
Moderne radarinstallaties hebben een gesofisticeerde post-signal processing, waarbij een radarbeeld in een aantal cellen wordt ingedeeld, en waarbij de celgrootte gekoppeld is aan de theoretische nauwkeurigheid en resolutie van de afstandsbepaling.

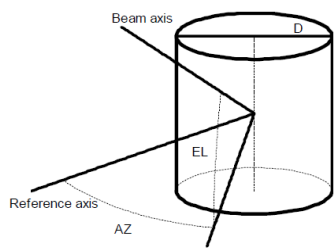
Bij een pulsduur van 1 µs wordt de minimale afmeting van een cel dan 300 m.

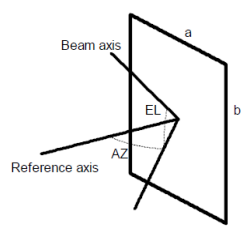
Binnen een dergelijke cel is het object met de grootste RCS dus dominant en zal kleinere objecten dus steeds maskeren.

Voor cilindervormige 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.

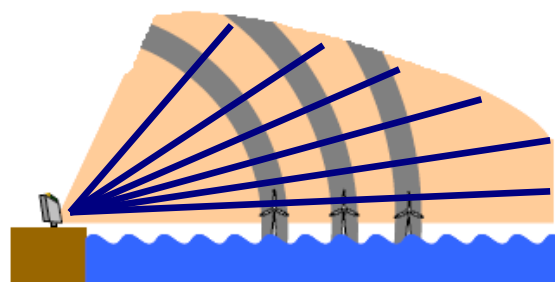
	Peak RCS	$\sigma_0 = 4\pi d^2 / \lambda^2$
	Effective area	$A = D\lambda / 4$
	half-power response width	N/A
	Reference axis	N/A
	Aspect factor	$f = 1$ RCS is independent of aspect and wavelength.

	Peak RCS	$\sigma_0 = 4\pi d^2 / \lambda^2$
	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	$\sigma_0 = 4\pi d^2 / \lambda^2$
	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 threshold’ 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.



6.1.2. Clutter en CFAR

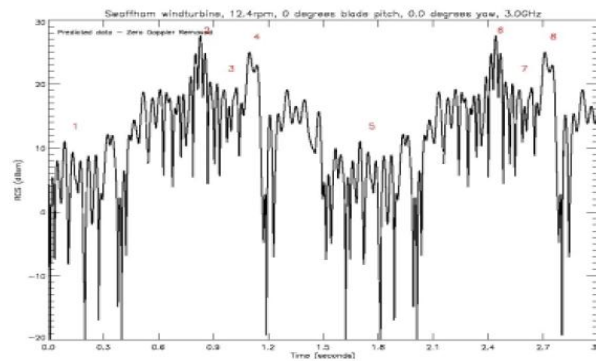


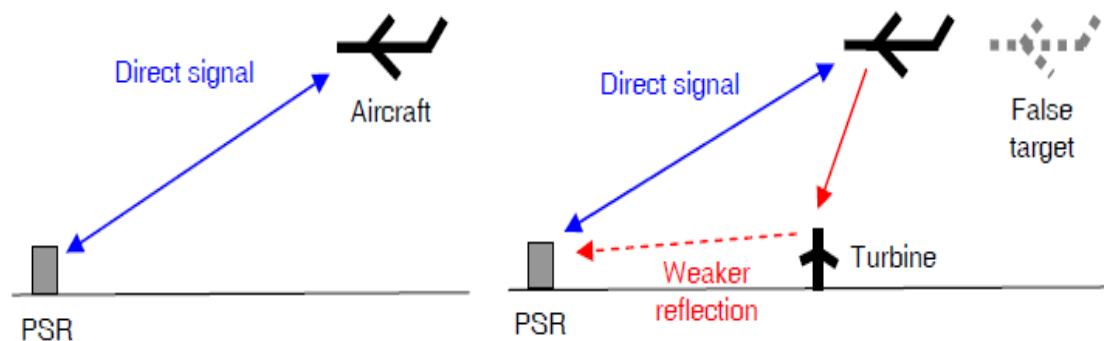
Figure 4-5: The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

De vraag dient nu verder gesteld of een wisselende “raised treshhold” 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 en annex 2 en 3.

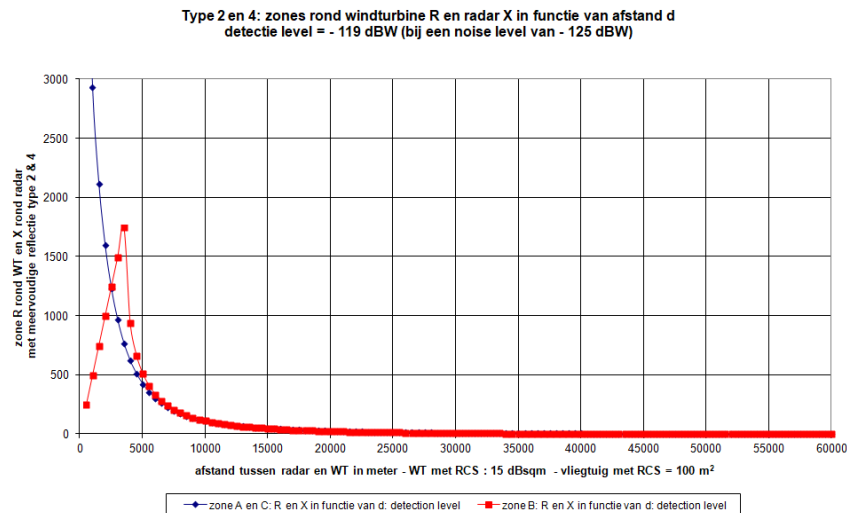
6.1.3. Meervoudige reflecties of “valse echo’s”

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.



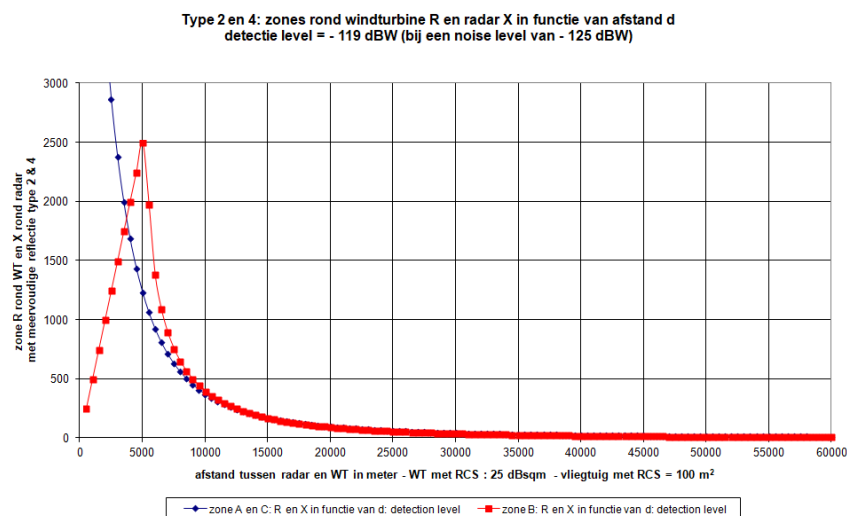
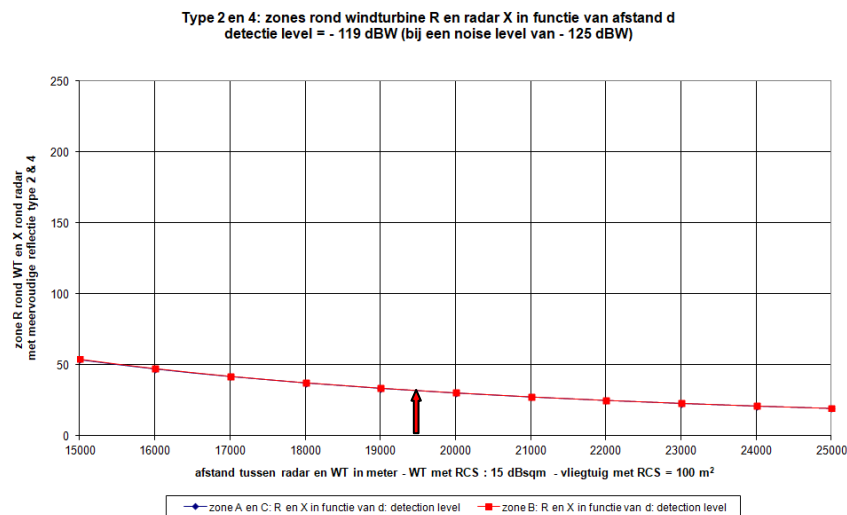
Hierbij dient opgemerkt te worden dat een radar met meerdere bundels naar elevatiehoeken, toch met dit verschijnsel kan geconfronteerd worden, via de (kleine) zijlobes van elke bundel.

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 m² (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 algoritme.



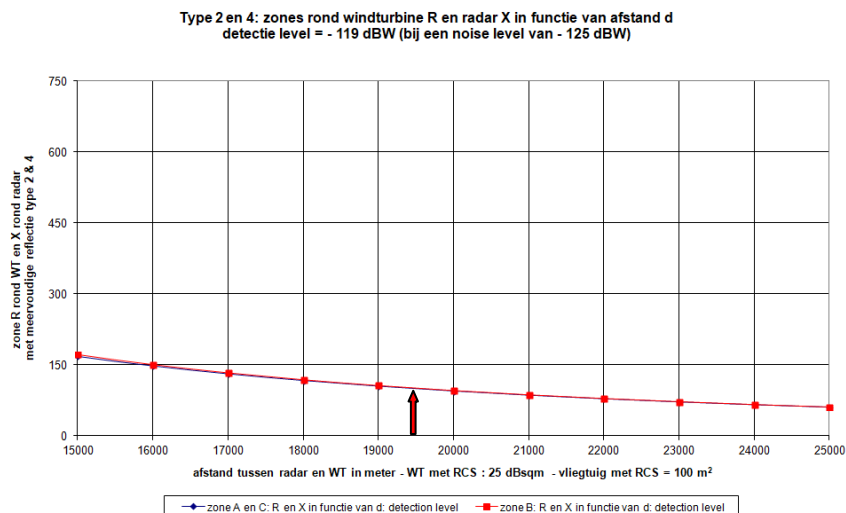
De volgende grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 25 km tussen radarinstallatie en windturbines.

Het is duidelijk dat er reeds op een afstand van 18,5 km, geen effect van meervoudige reflecties zal optreden.

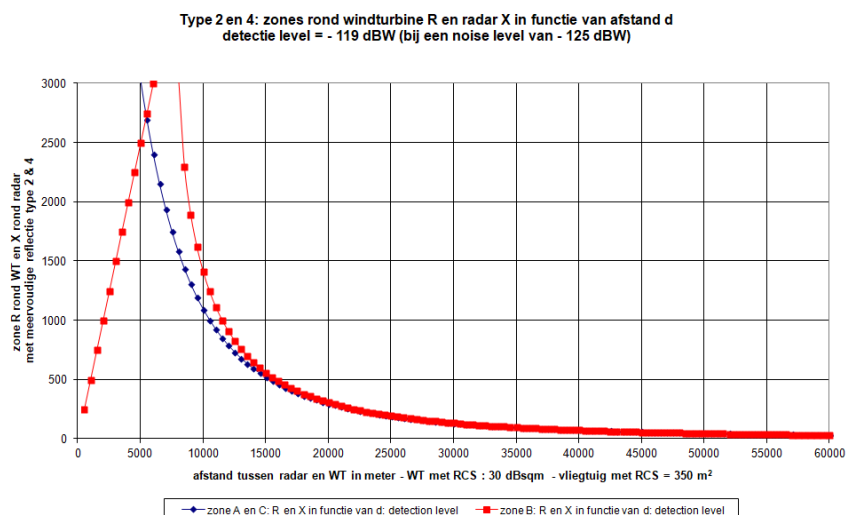


De volgende grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 25 km tussen radarinstallatie en windturbines.

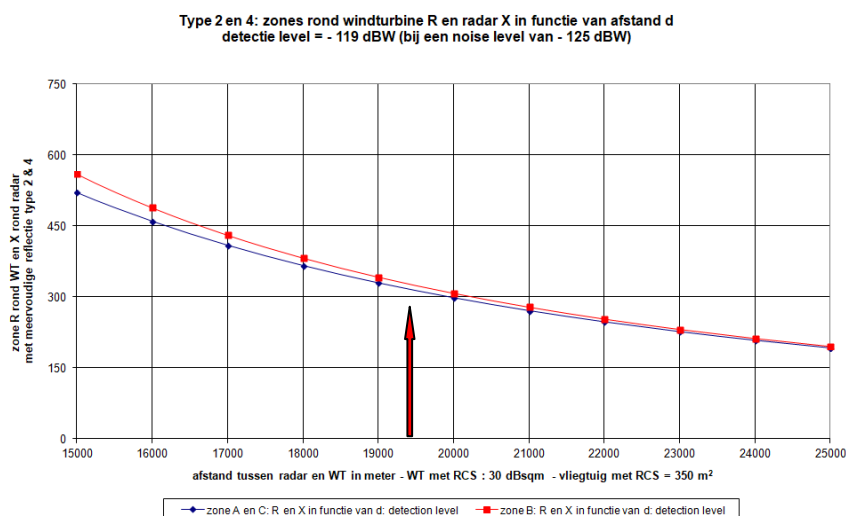
Het is duidelijk dat er reeds op een afstand van 18,5 km, geen effect van meervoudige reflecties zal optreden.



De volgende grafieken tonen een worst case scenario met een RCS voor de windturbine van 30 dBsqm (1000 m²) en 25 dBsqm (350 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 25 km tussen radarinstallatie en windturbines.



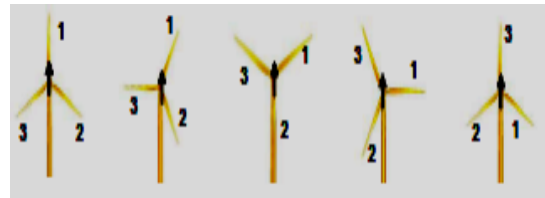
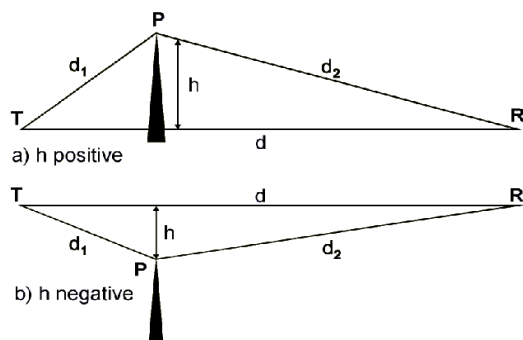
Gegeven normale vlieghoogtes in deze gebieden (woongebieden), stelt zich geen probleem, en vormt zelfs de worst case situatie in principe geen beperking voor de inplanting van windturbines op deze afstand tot de radarinstallatie.

Op te merken is dat, gegeven de normale RCS waarden van windturbines, er geen meervoudige reflecties kunnen optreden tussen de twee windturbines van dit project (tussenafstand is 660 m), en ook niet tot de dichtstbij gelegen Skaldenpark SK3 (2,6 km).

6.1.4. Schaduwing en verminderd bereik.

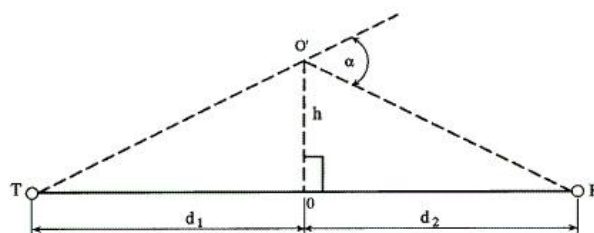
Bij een obstakel wordt door diffractie het bereik achter het voorwerp verminderd, of zelfs helemaal teniet gedaan (dode zone). Wanneer de Line of Sight (LoS) niet verstoord wordt door het obstakel (h negatief), dan blijft het volledige bereik gehandhaafd.

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).

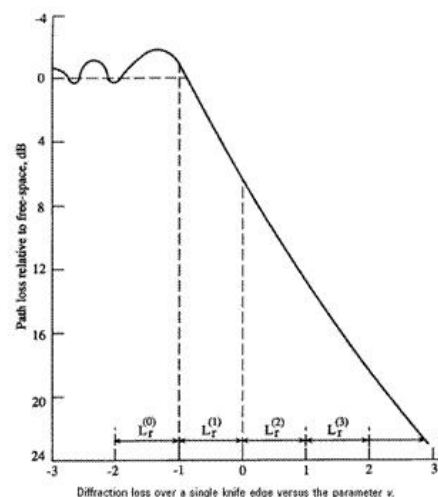


Bij een maximale tiphoogte van de windturbine van 230 m op een afstand van 19,5 km, is de vrije LoS van de aslijn radar/windturbine op een afstand van 125 km dan 1500 meter (ongeveer 4500 ft).

De onderstaande figuur geeft de bijkomende attenuatie van het radarsignaal in functie van een parameter “ v ”, die functie is van zowel de afstanden d_1 en d_2 , als de effectieve hoogte “ h ”.



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

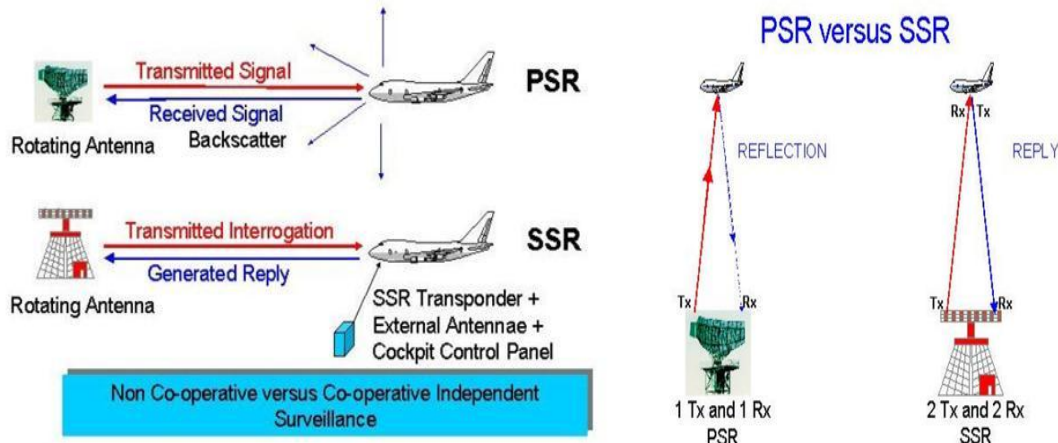


Zoals eerder gesteld, zal hoofdzakelijk alleen de reikwijdte van de laagste bundel hierdoor effectief beïnvloed worden.

In dit rapport wordt de vermindering in reikwijdte in eerste instantie aangegeven voor een zekere hoogte van de turbinemast, en verschillende vlieghoogtes. Het model voor deze simulatie is het “knife-edge” model van Fresnel.

6.2. SSR

Een secundaire radar is a priori een full duplex communicatie systeem, waarbij een vliegtuig via een tweede radiokanaal antwoordt op een “vraag” van de grondradar. Moderne SSR radars werken in de zogenaamde mode S, waarbij niet alleen een impuls wordt terug gestuurd naar het grondstation, maar ook gecodeerde informatie. In die zin is het dus een volwaardig radio communicatie systeem.



De voornaamste effecten die kunnen optreden worden kort besproken.

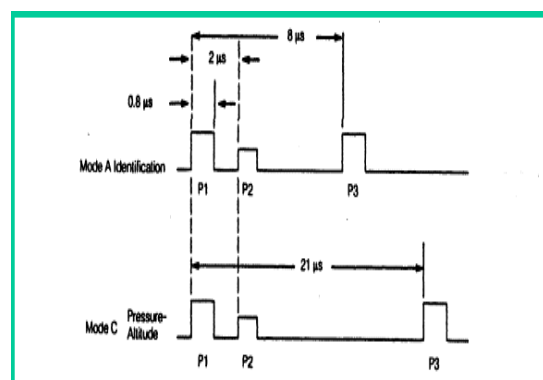
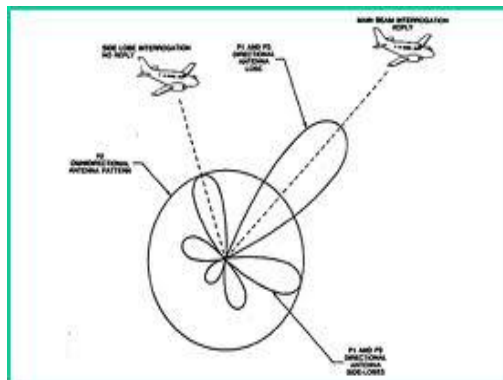
6.2.1. Verminderde reikwijdte

Er kan een verminderde reikwijdte door de zogenaamde “edge attenuation – Fresnel”, zoals ook bij de PSR besproken. Het gevolg hiervan is ook dat de “probability of detection” voor een object op een bepaalde afstand buiten de communicatieniveaus kan terecht komen.

6.2.2. False targets hoekfouten

Het optreden van multi-path signalen. Verschillende effecten vermeld te worden:

- multi-path fading, waarbij door interferentie van twee signalen met verschillende fase (door een verschillende lengte van het transmissiepad), een fading van het signaal kan optreden. Gezien zowel het doel (vliegtuig) als een tussenliggend object (bewegende rotorbladen van de windturbine), zal dat effect slechts kortstondig optreden
- delay spread van het signaal, waarbij een tweede impuls kan ontvangen worden en dat zowel door het vliegtuig als door het grondstation. In principe reageert een SSR systeem slechts op een eerste impuls binnen de puls-herhalingsperiode van het SSR systeem. Daartoe wordt een systeem met meerdere pulsen uitgezonden (P1, P2 en P3 – en extra Pi voor mode S).



- ditzelfde systeem wordt ook gebruikt zodat ook niet gereageerd wordt op signalen die via de zijlobes van de antennes worden uitgezonden, en een ander vliegtuig uit een andere richting of positie zou aanwijzen.
- door het vectorieel samenstellen van verschillende signalen kan een verschuiving in de hoofdrichting van het signaal optreden. Dit wordt meestal beschreven als een verstoring van het antennepatroon (hoekfout), en waardoor een voorwerp in een foutieve richting zou waargenomen worden.

In de volgende secties wordt voor de eenvoud van een aantal berekeningen een generieke afstand tussen windturbines en radar van 18,5 km (ipv 18,2 km en 18,6 km) genomen, als gemiddelde voor de 2 windturbines.

7. Studie PSR volgens § 4.3. van EUROCONTROL-GUID-0130

In deze sectie wordt ingegaan op de verschillende effecten en fenomenen, zoals deze in § 4.3. van het EUROCONTROL-GUID0130 document “*Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*” worden opgelijst, en 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, saturatie van de ontvanger en LoS

In eerste instantie dient nagegaan of de windturbines in de Line of Sight (LoS) van de radar liggen, en of ze detecteerbaar zijn. En ook of er een clustering van de nieuwe windturbines met het bestaande windturbinepark optreedt, dan wel een voldoende vrije propagatie of doorgang van de radarsignalen doorheen het windturbinepark 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 op de terreinen van Volvo Trucks Gent.

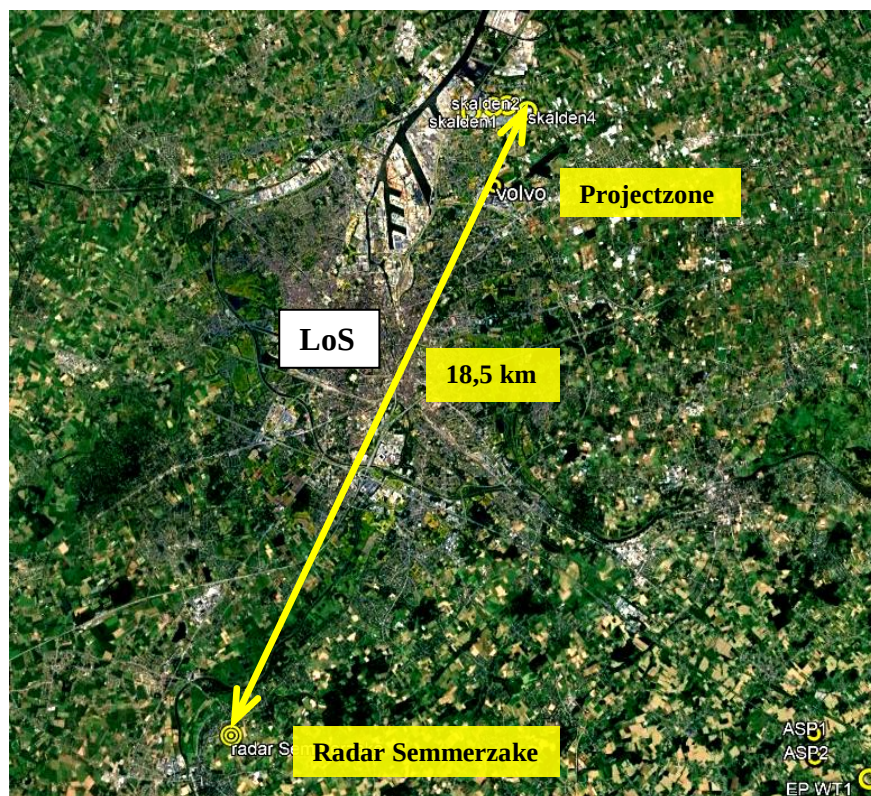
Uit verschillende studies die in de literatuur beschikbaar zijn (zie §2.5.2) kunnen de volgende statistische gegevens voor de RCS waarden van windturbines afgeleid worden:

Monostatische RCS windturbine

< - 10 dBsqm	< 1%
tot 0 dBsqm	10 %
tot 10 dBsqm	30 %
tot 20 dBsqm	95 %
> 20 dBsqm	100 %

Bistatische RCS windturbine

< - 10 dBsqm	< 2%
tot 0 dBsqm	30 %
tot 10 dBsqm	80 %
tot 20 dBsqm	98 %
> 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.

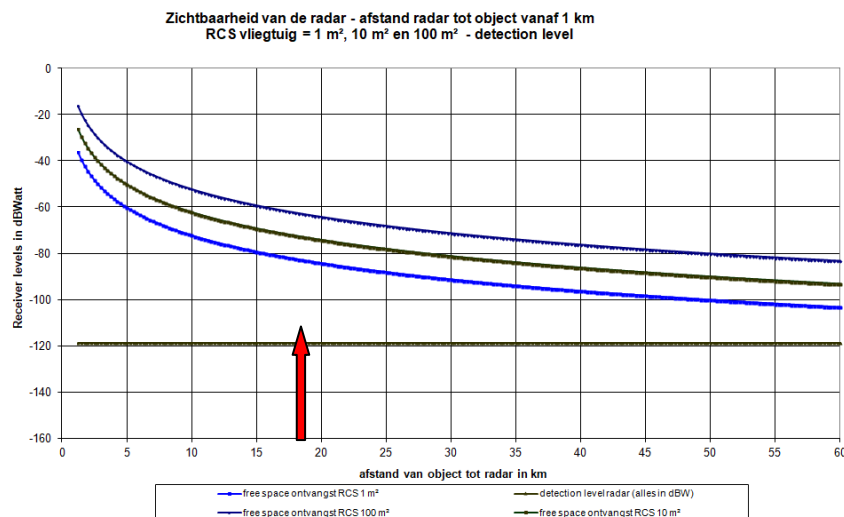
De bovenstaande cumulatieve waarschijnlijkheden van optreden, komen telkens voor tijdens 1/3 van een omwenteling van de rotor (bij een rotor met drie wieken), en kunnen derhalve ook als een globaal gemiddelde aanzien worden.

Uit de volgende grafiek blijkt dat een windturbine op 18,5 km afstand, nog steeds zichtbaar is, onder voorwaarde dat er zich geen andere grote storende factoren of dempingen op het terrein voordoen.

Dit houdt dus ook in dat vliegtuigen met een RCS waarde kleiner dan of gelijk aan de ogenblikkelijke RCS waarde van de windturbine, gemaskeerd zullen zijn en dus niet waargenomen kunnen worden bij doortocht van diezelfde waarnemingscel ("resolution cell") waar de windturbine zich bevindt voor de laagste radarbundel.

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).

Wel dient rekening gehouden met de wisselende RCS van de windturbines door de draaiende rotor, die aanleiding geeft tot een specifieke clutter effect (zie § 7.3.).



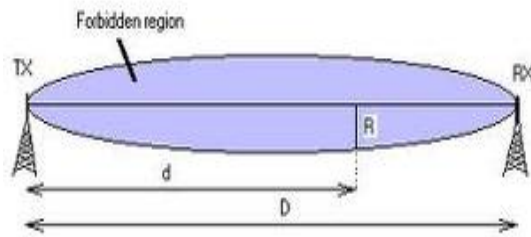
Verder dient nagegaan te worden volgens §4.2.5. van het Eurocontrol document in welke mate er mogelijke cumulatieve effecten van bestaande windturbineparken en de geplande windturbine dienen in aanmerking genomen te worden.

Hierbij dient nog opgemerkt te worden dat de nieuw geplande windturbines een masthoogte hebben van maximaal 145 meter en een tiphoogte van 225 meter.

Dit is vergelijkbaar met de geplande windturbines Skaldenpark SK1/3, verder gelegen op een afstand van 2,6 tot 3 km.

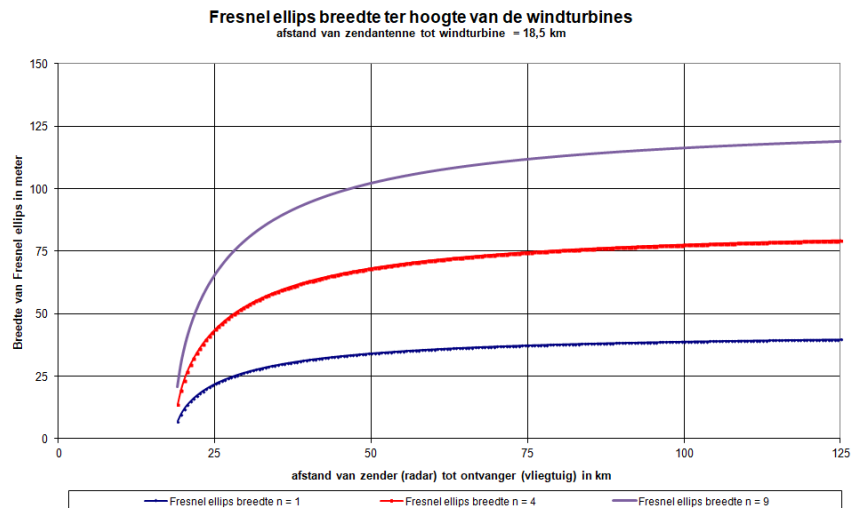
In vorige figuren werd reeds duidelijk aangegeven dat er geen clustering zal optreden tussen de twee windturbines van dit project, en ook niet ten opzichte van het project Skaldenpark, en meer specifiek SK3 (670 m tussen de radarassen SK3 en de nieuwe windturbine WTN2).

In elk geval betreft het geen propagatie tussen twee objecten, maar enkel langs een object, zodat enkel dient rekening gehouden met de Fresnelstraal als een mogelijke restrictie.



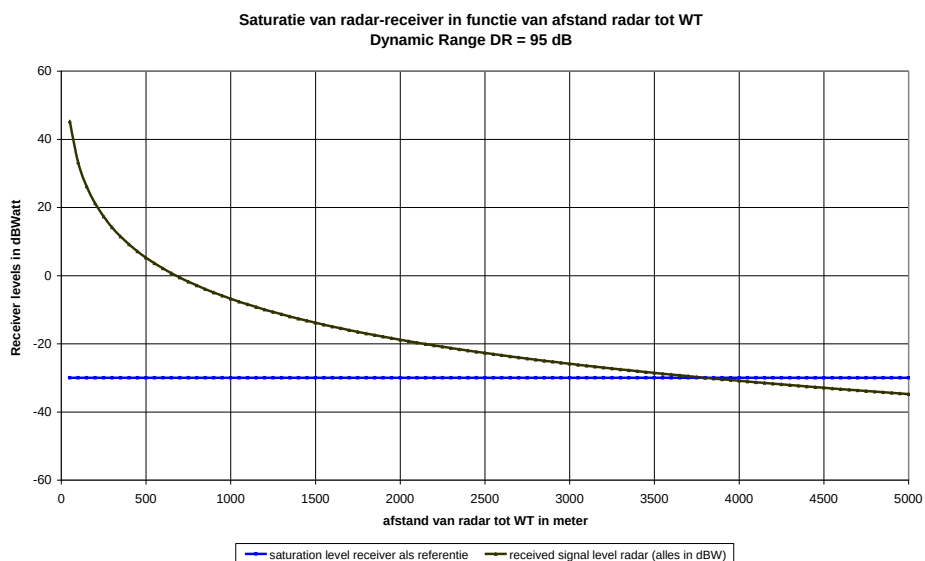
$$R^2 = (n * \lambda * d * (D-d)) / (D)$$

In de volgende grafiek wordt de Fresnel voorwaarde voor orde $n = 1$, $n=4$ en $n=9$ gegeven voor de gemiddelde afstand tussen windturbines en radar van 18,5 km (Volvo Trucks Gent).



De kortste afstand ter hoogte van de radarassen voor de windturbines Skaldenpark SK3 en de nieuwe Volvo Trucks WTN2 is 670 m. Zelfs als een protectielevel $n = 9$ aangehouden wordt, is dit geen probleem (125 m voor waarnemingen op grote afstand).

Voor de PSR receiver saturation kan uitgegaan worden van de noise floor en Dynamic Range (95 dB). Onder normale condities zal de saturatie-afstand beperkt blijven tot ongeveer 3 km. Dit stelt uiteraard geen probleem tegenover een windturbine op een afstand van 18,5 km.



7.2. PSR shadowing

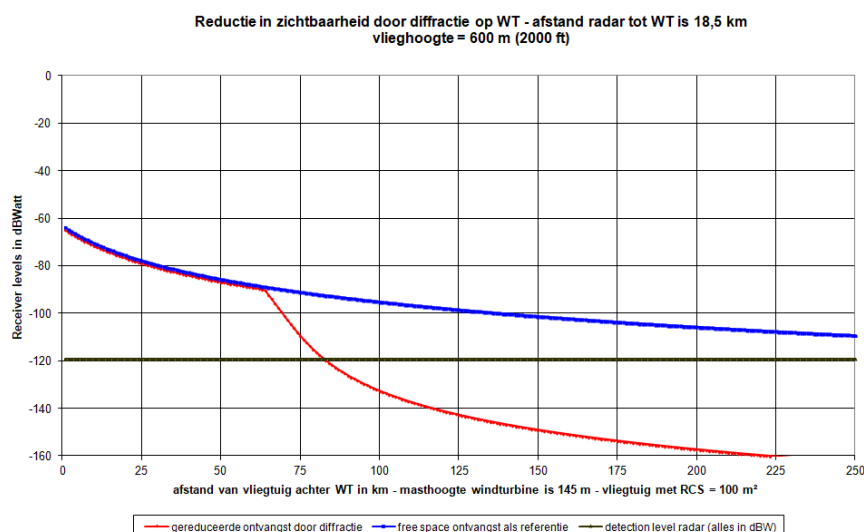
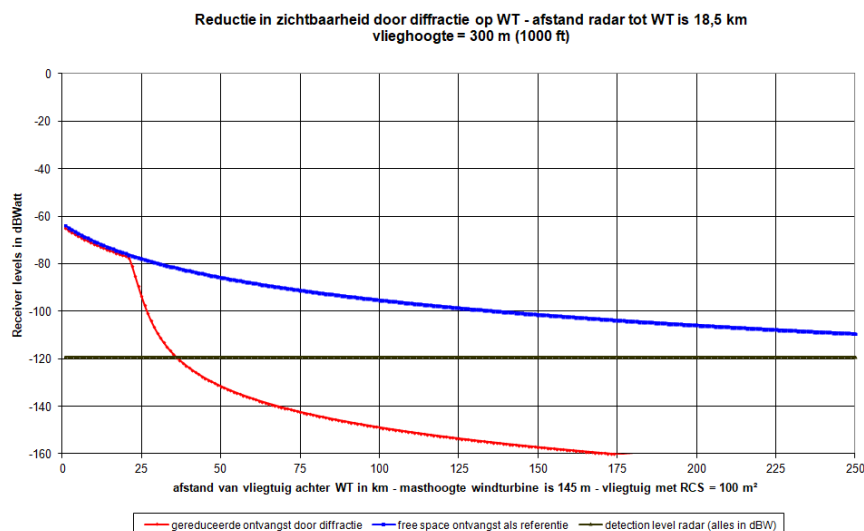
Uit het voorgaande blijkt reeds dat de shadowing in wezen bepaald zal worden door de hoogte van de nieuwe windturbines.

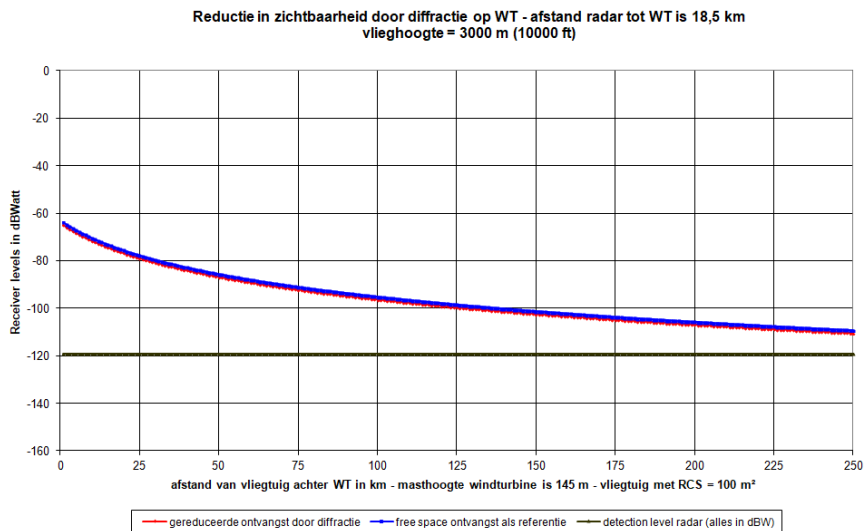
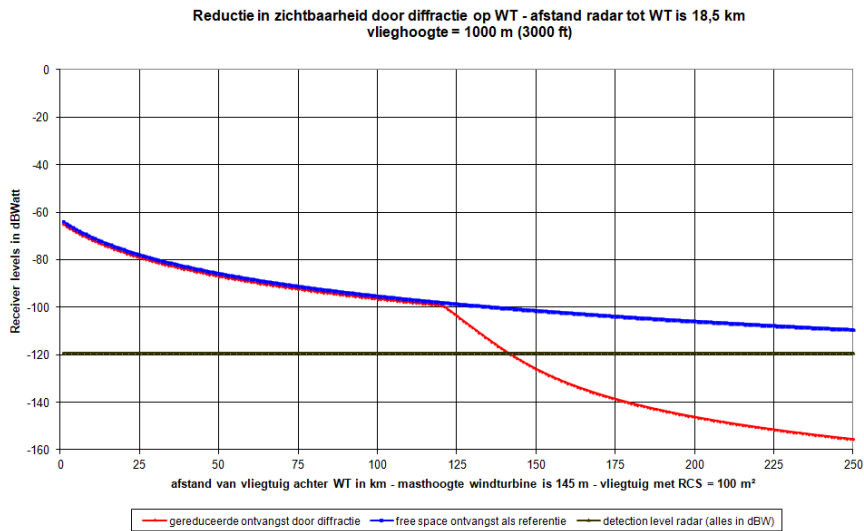
In de volgende figuren wordt de optredende shadowing (of vermindering van bereik) gegeven op de aslijn radar/windturbine ten gevolge van de masthoogte, bij verschillende vlieghoogtes. Bij een vlieghoogte van 300 m, 600m, 1000 m en 3000 m en een RCS van een vliegtuig van 100 m^2 kan de shadowing ten gevolge van de maximale masthoogte van 145 m (en in optie 112 m), ingeschat worden zoals op de volgende figuren aangegeven.

Een volledige reeks van grafieken, inclusief de Probability of Detection PD% volgens de geldende Swerling modellen, wordt in annex 4 gegeven.

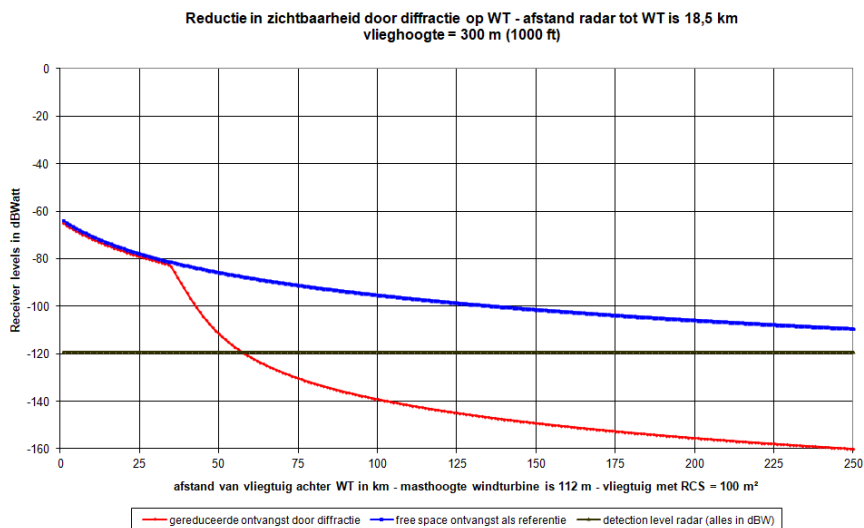
In annex 5 worden een reeks grafieken gegeven, als referentie, voor de huidige situatie in deze omgeving, namelijk het Skaldenpark (4 windturbines in ontwikkeling) en de windturbines momenteel operationeel op de terreinen van Volvo Trucks Gent.

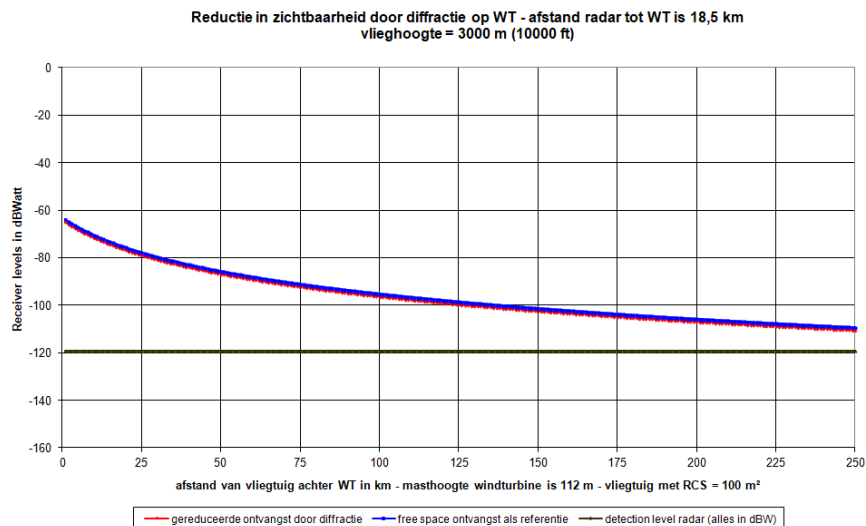
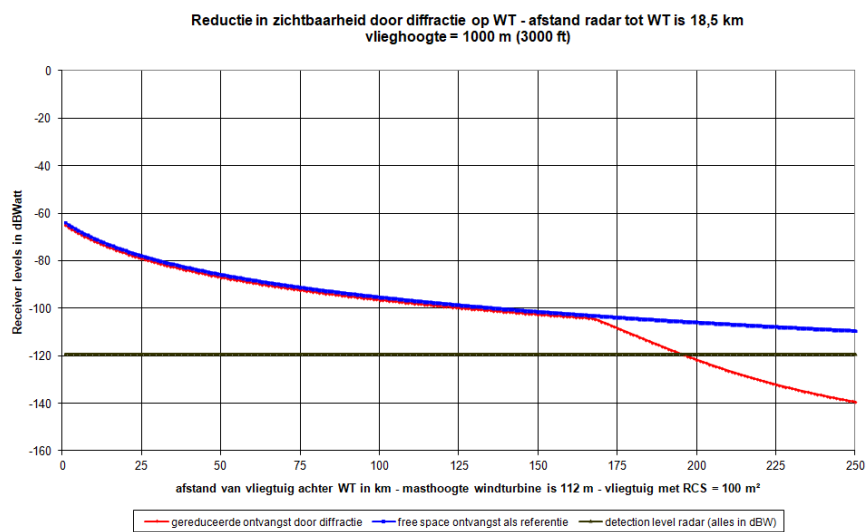
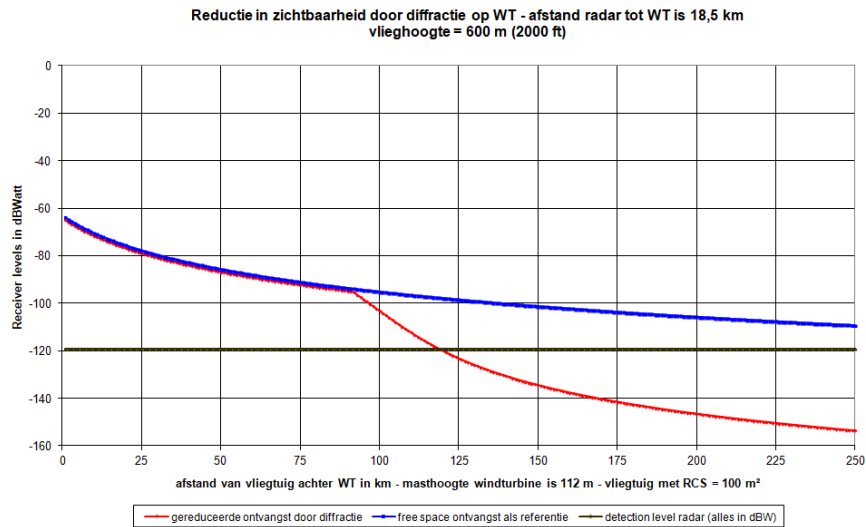
“Eerste keuze” masthoogte 145 m





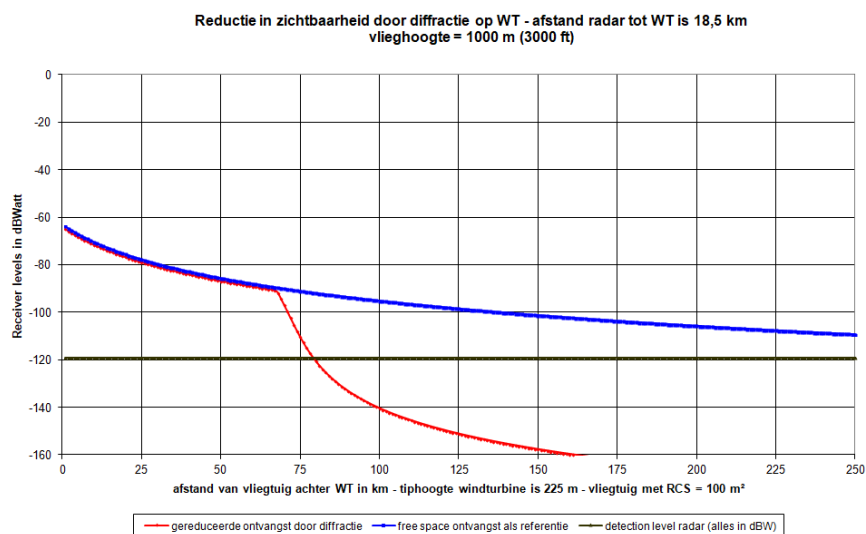
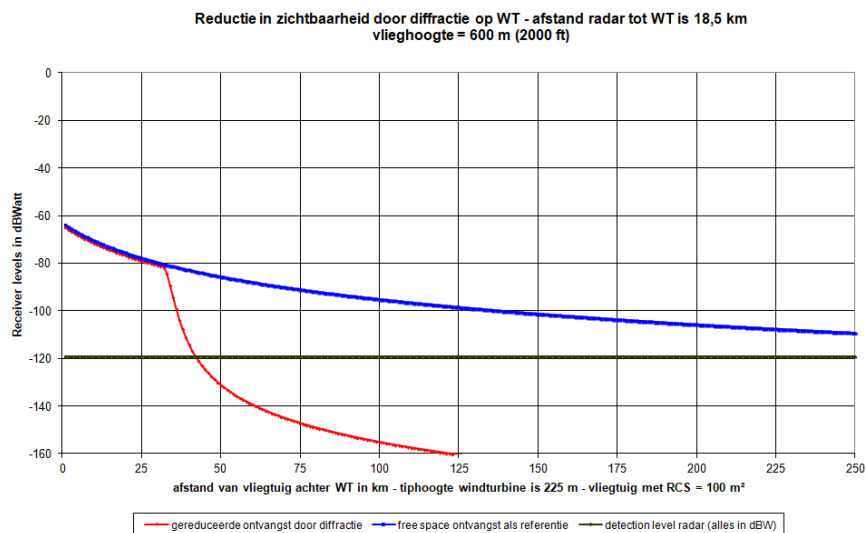
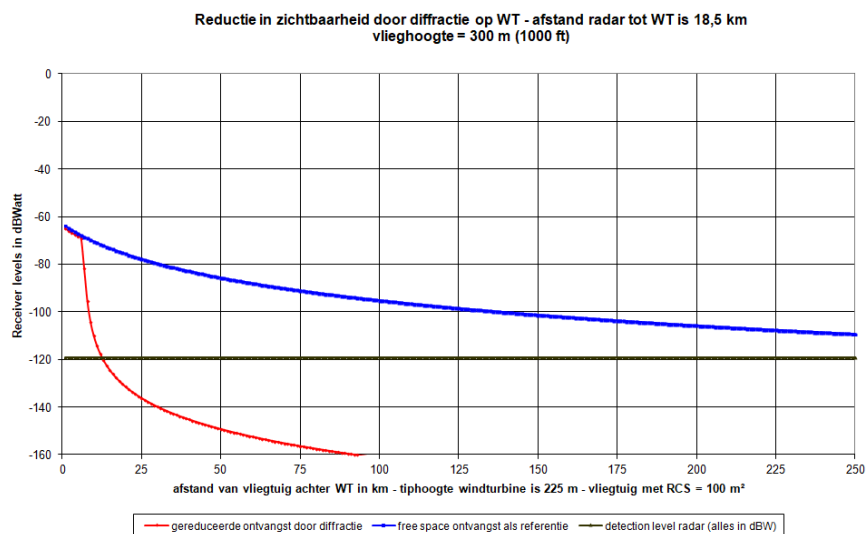
“Tweede optie” masthoogte 112 m

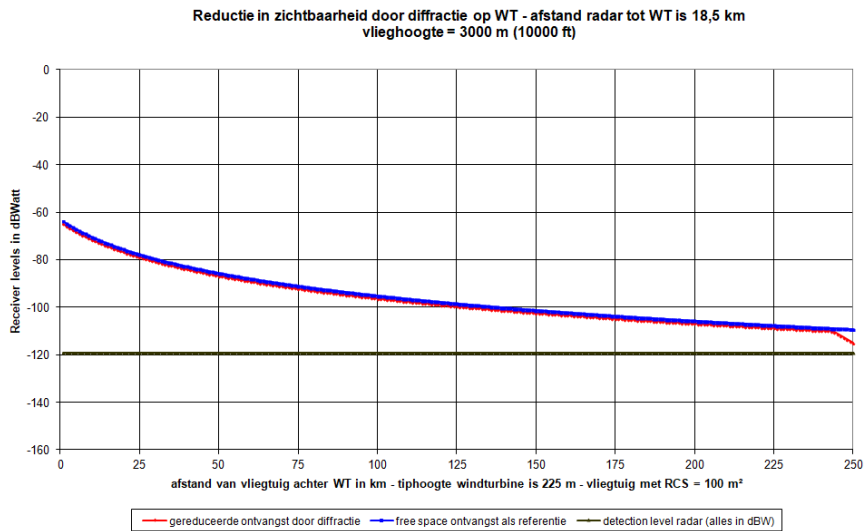




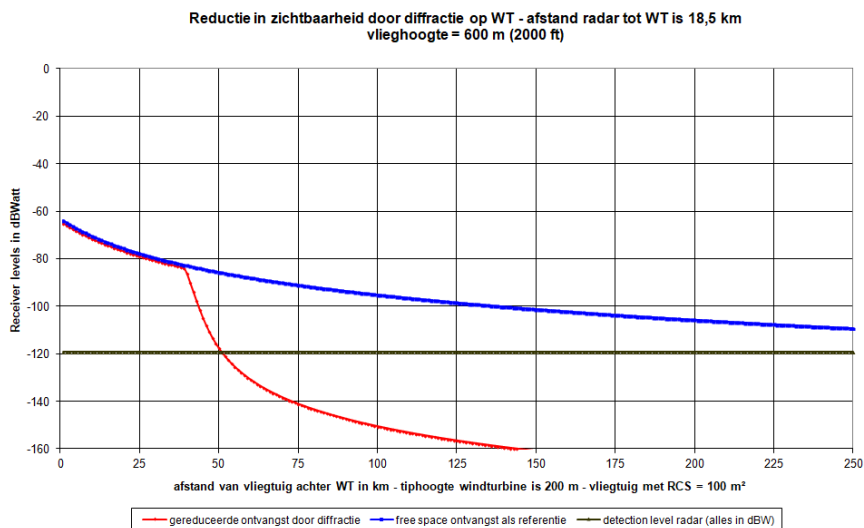
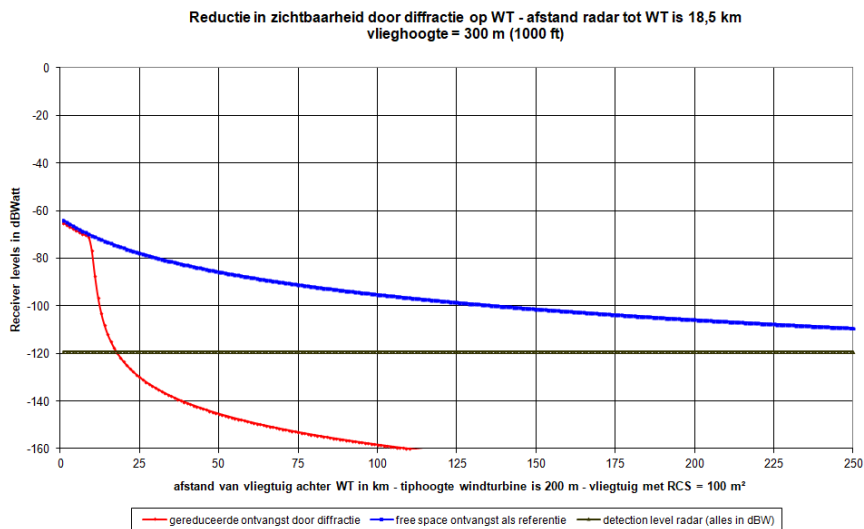
Bij een vlieghoogte van 300 m, 600m, 1000 m en 3000 m en een RCS van 100 m² kan de shadowing ten gevolge van de tiphoogte van 225 m (en in optie 200 m), ingeschat worden zoals op de volgende figuren aangegeven.

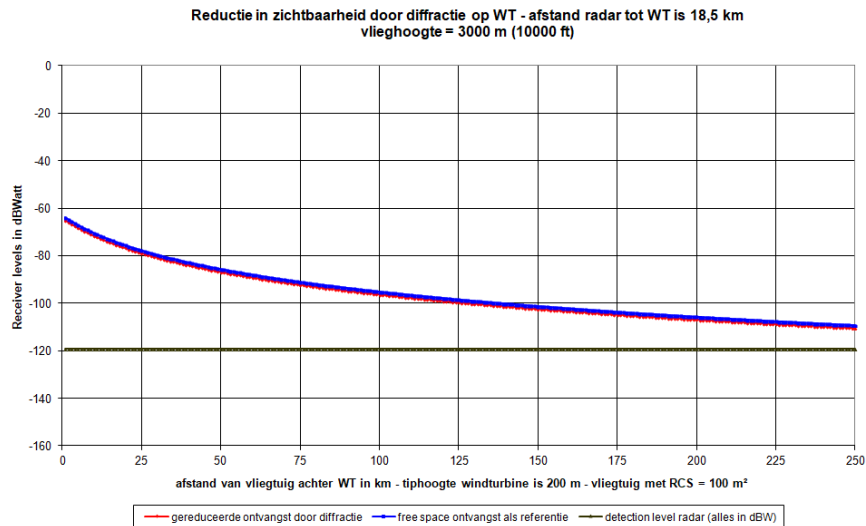
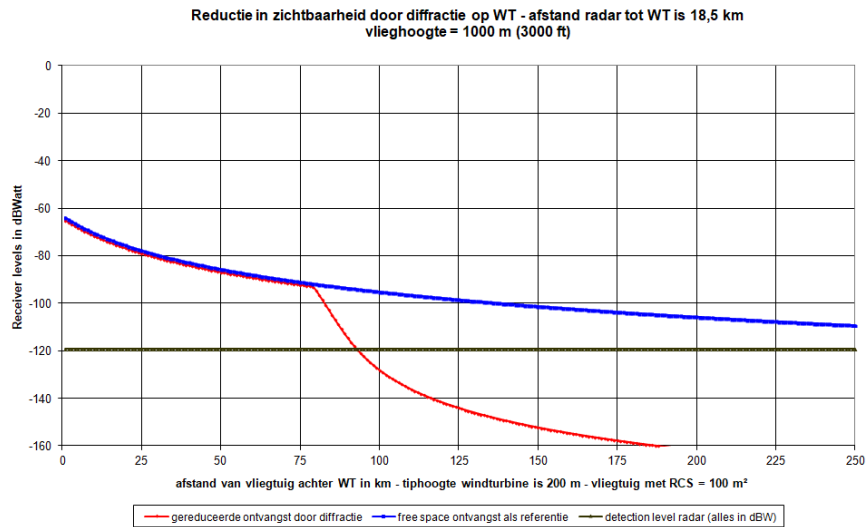
“Eerste keuze” tiphoogte 225 m



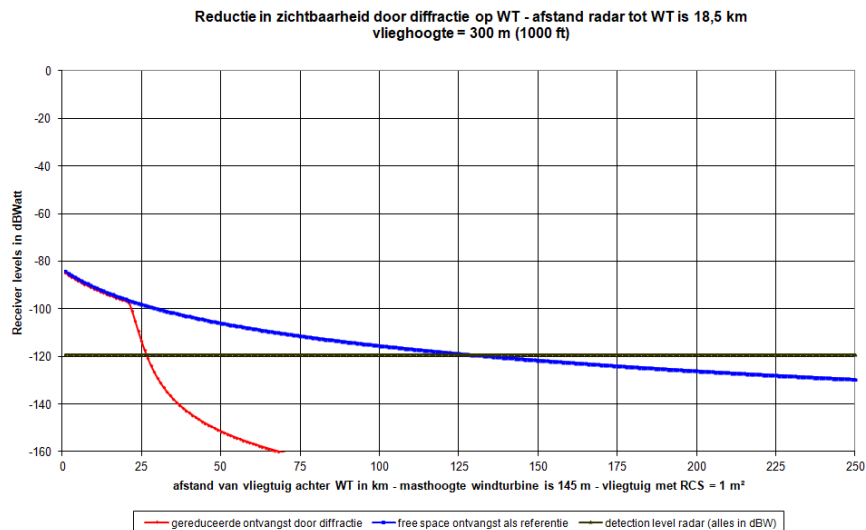


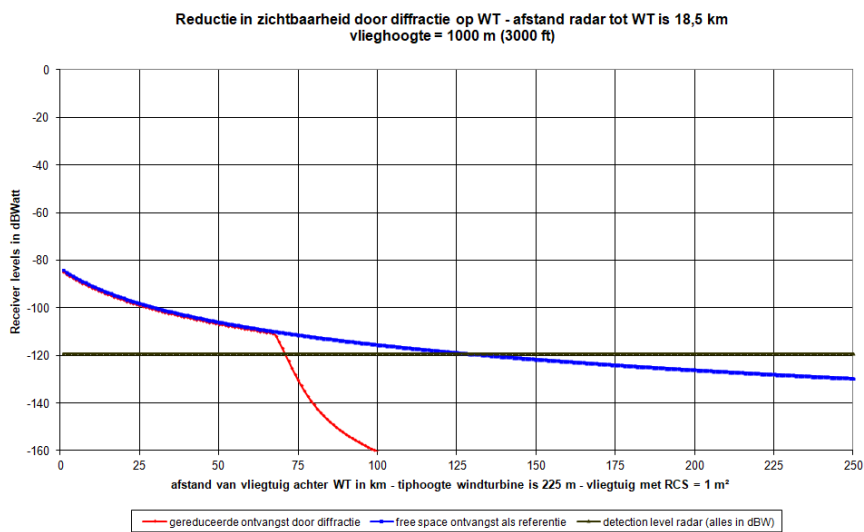
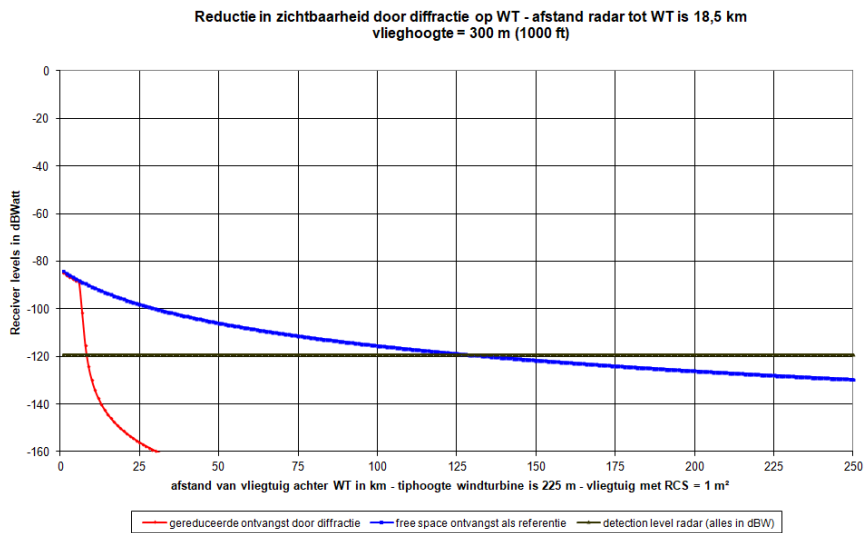
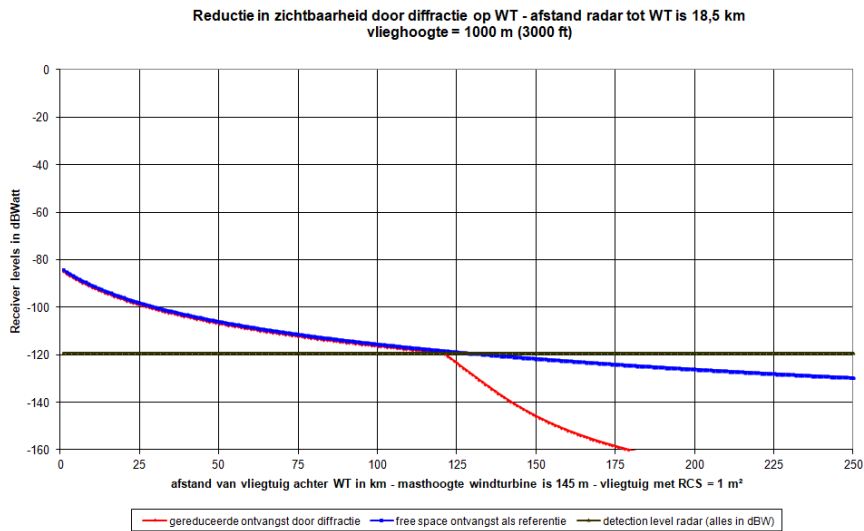
“Tweede optie” tiphoogte 200m





Verder worden hier nog telkens twee grafieken gegeven bij de masthoogte van 145 m, en een tiphoogte van 225 m, bij een vlieghoogte van het vliegtuig van 300 m en 1000 m en een beperkte RCS voor het vliegtuig van 1 m².





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, zullen de windturbines door de radar waargenomen worden. Zie hiervoor §5 hierboven. Dit houdt dus in dat er een mogelijke raised threshold 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.

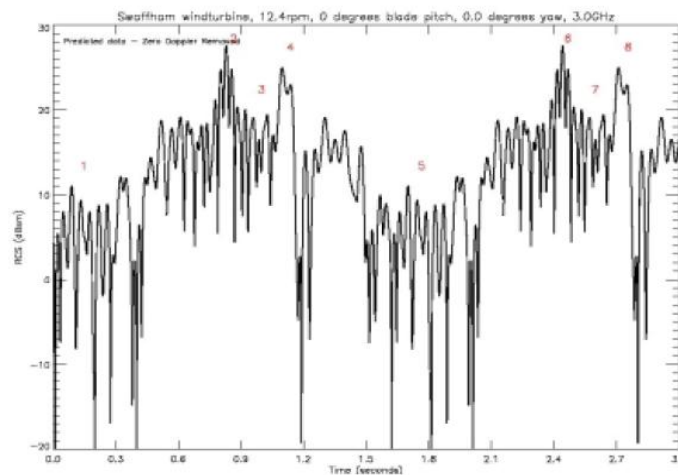


Figure 4-5; The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

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 threshold 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 algoritme 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 treshhold van het ene object de waarneming van het tweede object maskeert. Daarvoor werd een algoritme ontwikkeld waarbij guard cells rond de actieve waarnemingscel worden ingelast. Zie hiervoor o.a. [Rohling – 1983].

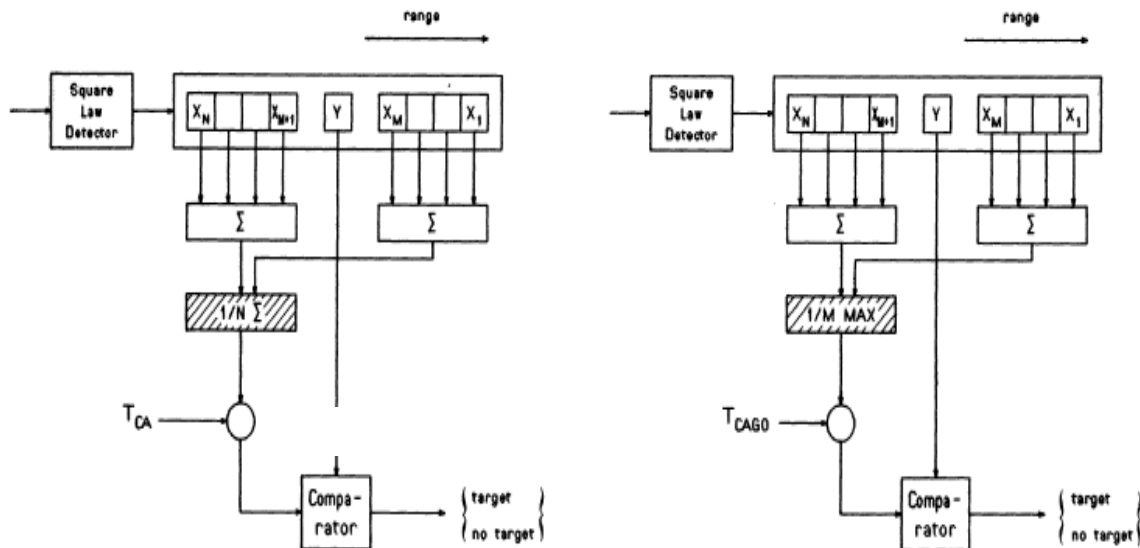
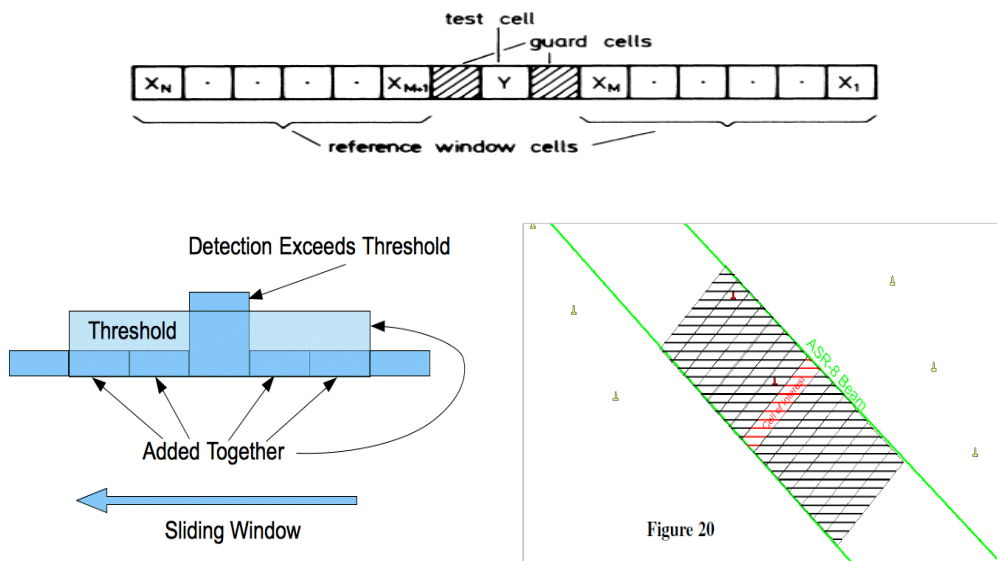


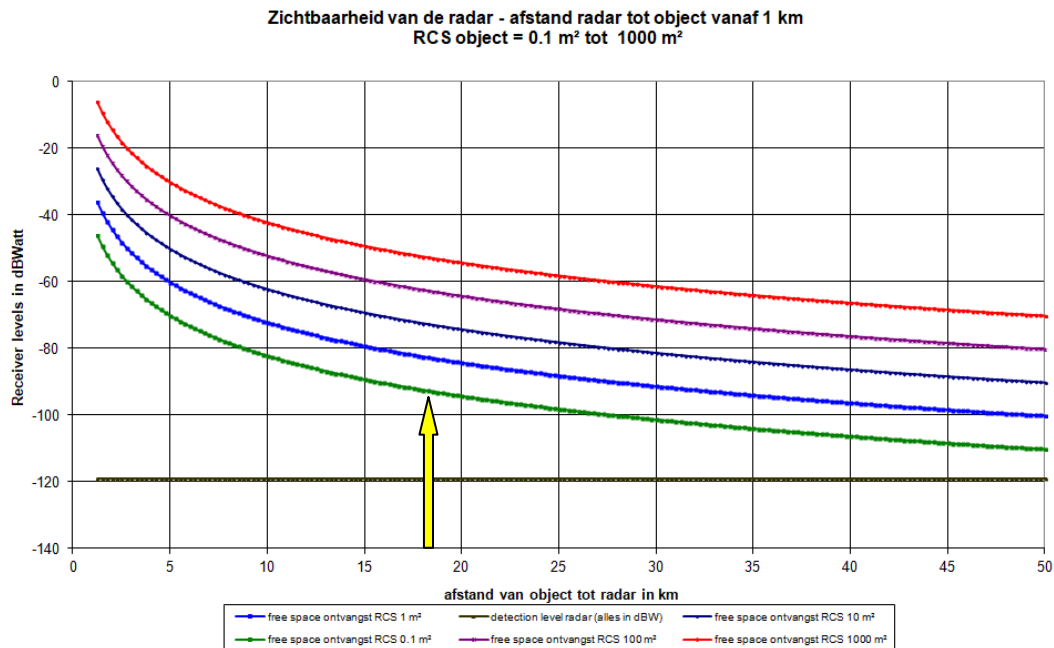
Fig. 2. Comparison of CA and CAGO CFAR procedures.



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.

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

De volgende tabel geeft als voorbeeld een overzicht van het ontvangen signaal, voor een object tot op een afstand van 18,5 km en voor verschillende RCS waarden.



RCS waarde	signaal in dBW
0.1	- 95 dBW
1	- 85 dBW
10	- 75 dBW
100	- 65 dBW
1000	- 55 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 – 65 dBW.

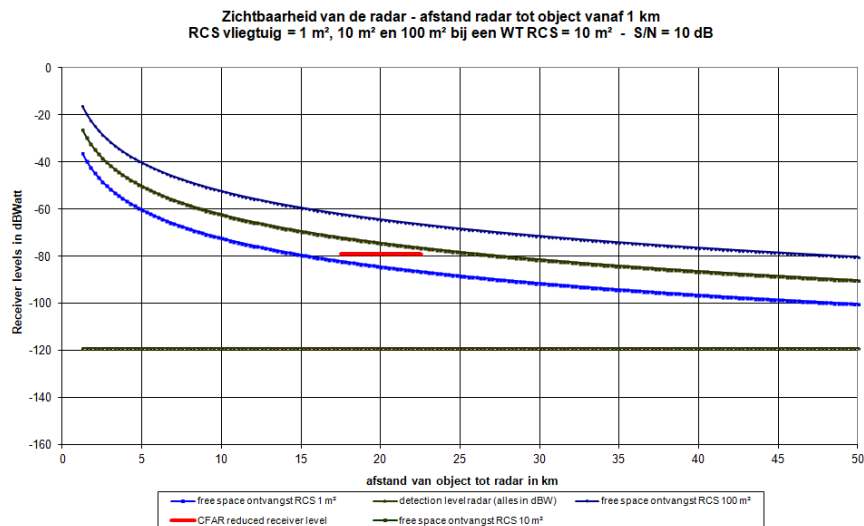
Indien in de omliggende waarnemingscellen geen objecten aanwezig zijn, mag aangenomen worden dat deze cellen op het ruisniveau worden waargenomen. Door het CFAR (GOCA) algoritme wordt in de invloedzone rond het windturbinepark de ontvangstgevoeligheid naar ongeveer – 69 dBW terug gebracht, waarbij een CFAR getal van 2 werd genomen.

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

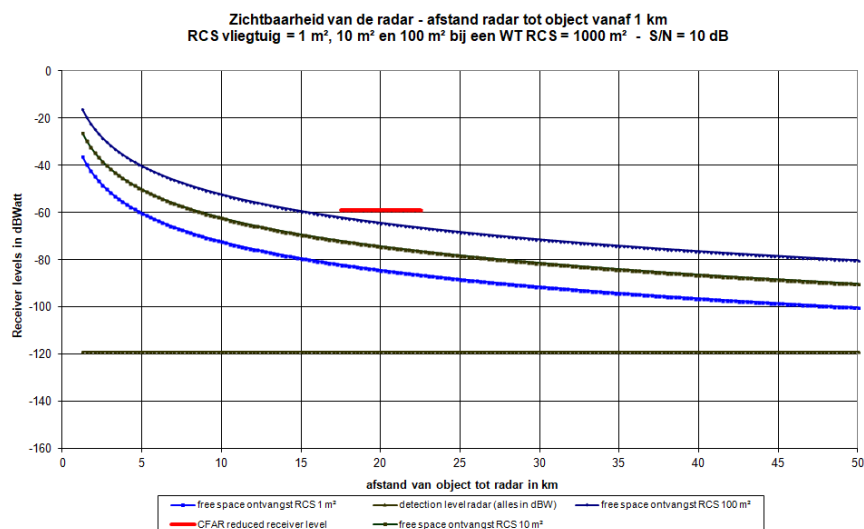
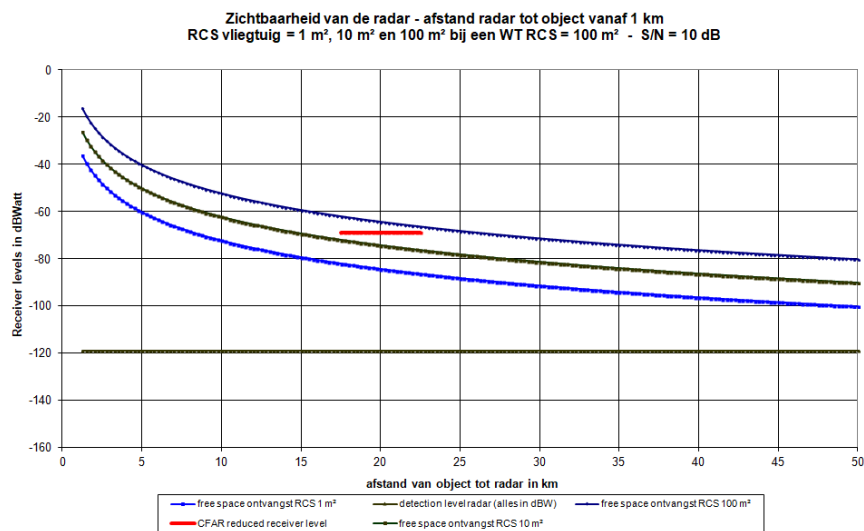
Door het mogelijke grote verschil tussen de WT-clutter en de omgevingsruis, ontstaat dus een CFAR zone met een sterk verminderde gevoeligheid, waardoor zelfs middelgrote vliegtuigen niet zullen waargenomen worden.

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 gebruikte CFAR algorithmes (GOCA of SOCA). De threshold binnen deze zone is echter 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 windturbines:

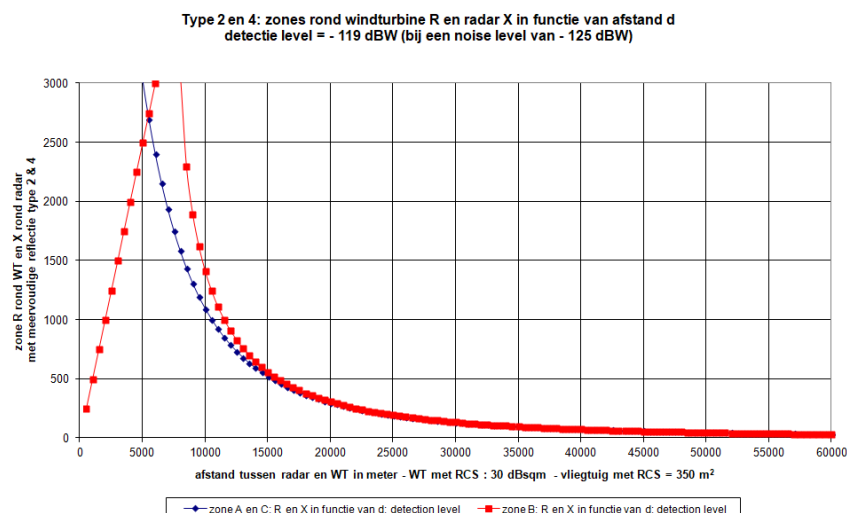
RCS vliegtuig	Pd
1 m ²	10 %
10 m ²	30 %
20 m ²	60 %
100 m ²	95 %
> 100 m ²	> 95 %

7.3.2. Echo's van de windturbines onderling

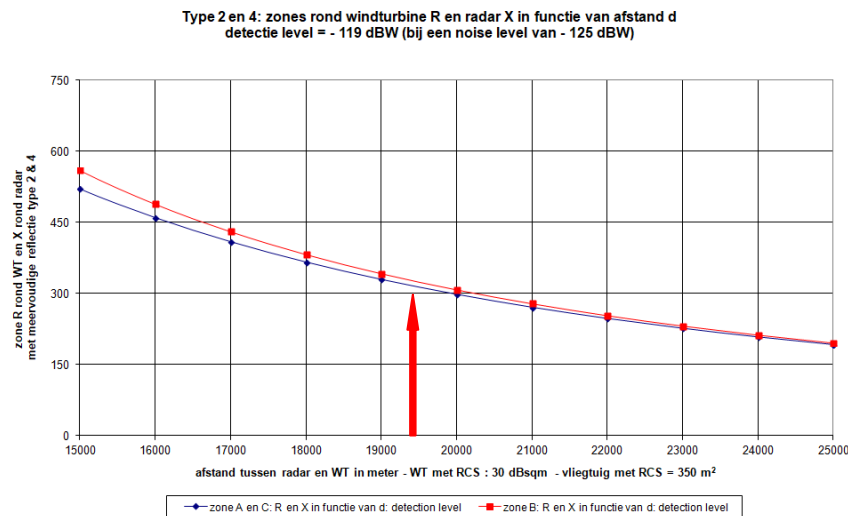
De vraag stelt zich verder naar mogelijke meervoudige reflecties tussen windturbines, waarbij dus een “valse windturbine” zou waargenomen worden.

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 300 m rond de turbine, zoals uit de volgende figuren (worst case) kan afgeleid worden.

De afstand tussen de twee windturbines onderling van dit project Volvo Trucks is 660 m, en de afstand tot de verderaf gelegen windturbines Skaldenpark SK1/3 is minimaal 2,6 km. Er zullen dus een valse echo's optreden ten gevolge van de windturbines in de omgeving.



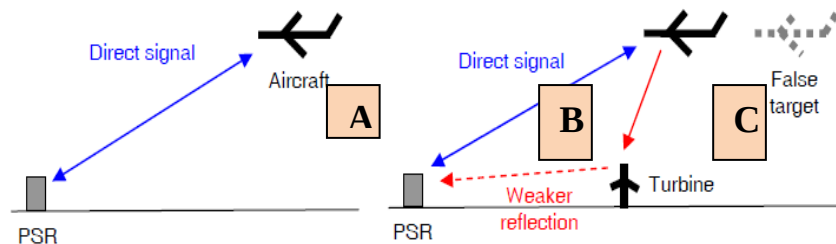
De onderstaande grafiek is een detailweergave voor een afstand tussen 15 km en 25 km tussen radarinstallatie en windturbines.



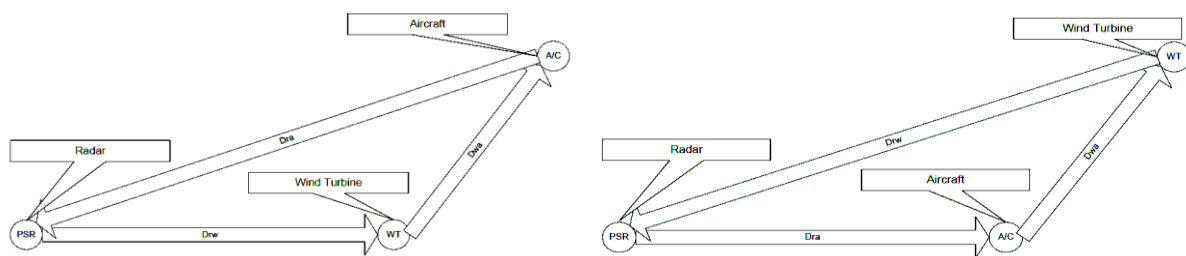
Nieuwe algorithmes in verband met de signal processing van de radarsignalen werden en worden nog steeds ontwikkeld en mogelijk geïmplementeerd op de radarinstallatie. Hierdoor wordt het mogelijk om per waarnemingscel een afzonderlijke signal processing in te stellen en door te voeren. In annex 2 en 3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

7.3.3 PSR false targets reports (multiple reflections)

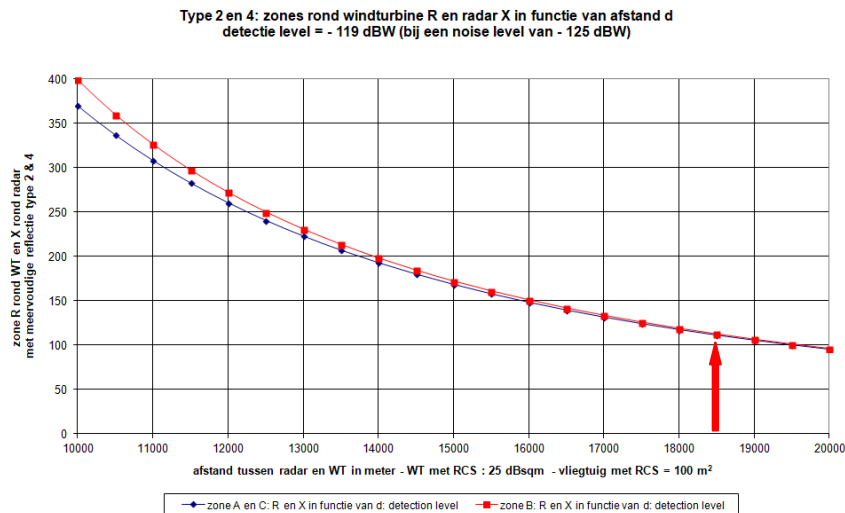
Een volgende vraag betreft het mogelijke optreden van meervoudige reflecties of valse echo's van andere objecten of vliegtuigen. In de volgende figuren worden de zones aangegeven waarbinnen deze effecten kunnen optreden (rond zowel de radarinstallatie zelf als de windturbine), in functie van de afstand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



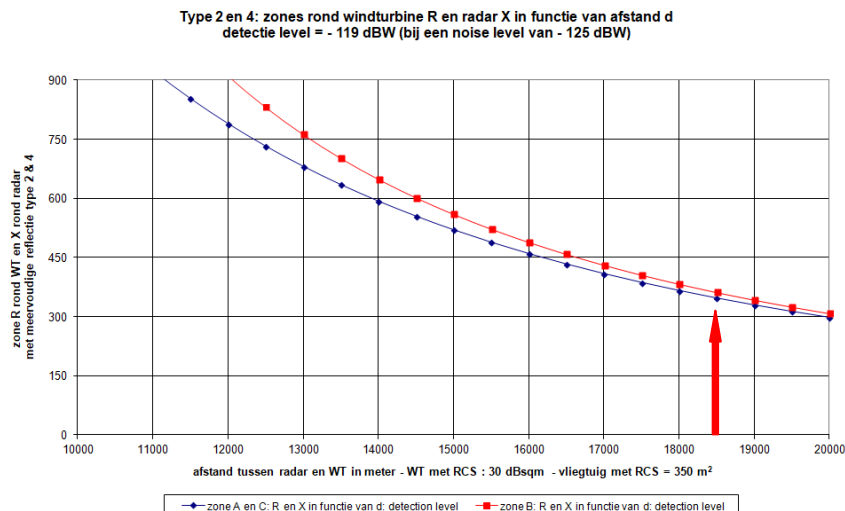
Uit zowel de literatuur als een aantal eerdere studies, blijkt dat van de 4 mogelijke situaties van meervoudige reflecties (Annex C van het Eurocontrol document), er slechts 2 dominant zijn. Deze worden hieronder schematisch weergegeven.



Voor een windturbine met een bistatische RCS = 25 dBsqm (350 m²) en een vliegtuig met een RCS = 100 m² beperkt deze zone zich tot 100 m.



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 deze worst case condities blijven deze zones van meervoudige reflecties beperkt tot maximaal 350 meter rond en boven de windturbines. Gegeven de normale vlieghoogtes voor vliegtuigen met een dergelijke bistatische RCS boven bebouwde gebieden, en de veiligheidsvoorschriften stelt dit dus geen operationeel probleem.

7.4. PSR processing overload

Omtrent de processing mogelijkheden zijn geen gegevens vrijgegeven. Enkel kan gesteld worden dat de beperkte zone van de twee windturbines onder normale omstandigheden geen processing overload met zich mee kunnen brengen.

7.5. PSR raised thresholds, range en azimuth fouten

7.5.1. Raised threshold

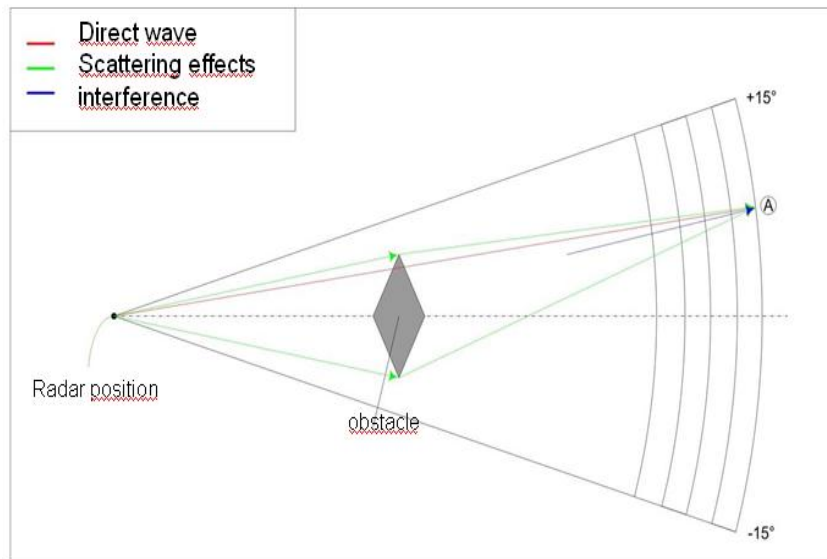
Raised threshold zal optreden in de projectzone en werd reeds in detail besproken in §7.3.2. Hierbij werd geen rekening gehouden met mogelijke optimalisatie algorithmes, die ook niet bekend zijn en als confidantieel worden bestempeld.

7.5.2. Fouten in plaatsbepaling

Door het samenvoegen van twee of meerdere signalen (door multipath of reflectie) kan er een verschuiving in tijd als in fase optreden. Gevolgen hiervan zijn mogelijke fouten in de waarneming van de positie, zowel in afstand (range) als in hoekbepaling (azimuth).

7.5.2.1. Fouten in afstandsbe­paling.

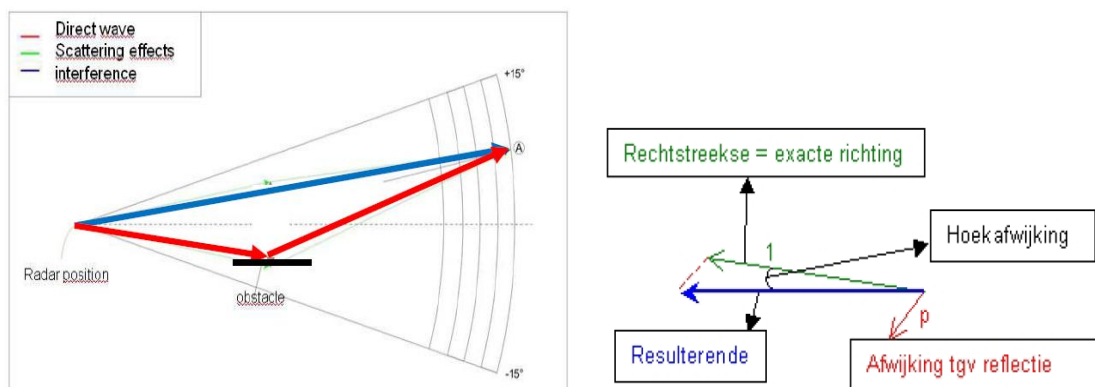
Eerst en vooral is er een mogelijke fout in de afstandsbe­paling. Door het effect van reflecties/diffracties ontstaan in feite meerdere radarbundels, die in realiteit weer tot één enkele waarneming samenkomen, doch met een mogelijke wijziging in gemiddelde tijdsvertraging van dit totale signaal. Dit resulteert dan in een foutieve inschatting van de afstand tussen radar en waargenomen object.



Bij een pulsduur van het radarsignaal van 1 μsec is de eigen resolutie van het radarsysteem in afstand 300 m. Uit een aantal generieke studies [Van Lil] blijkt dat op relatief korte afstand de fout op afstand ten hoogste 50 m bedraagt, en op grotere afstand ten hoogste een tiental meter is. Dit is dus ruimschoots binnen de resolutie van de radar zelf.

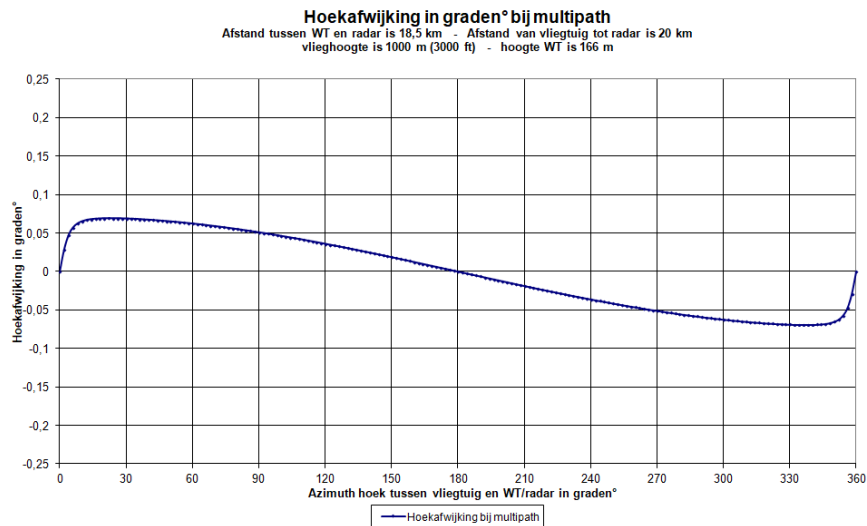
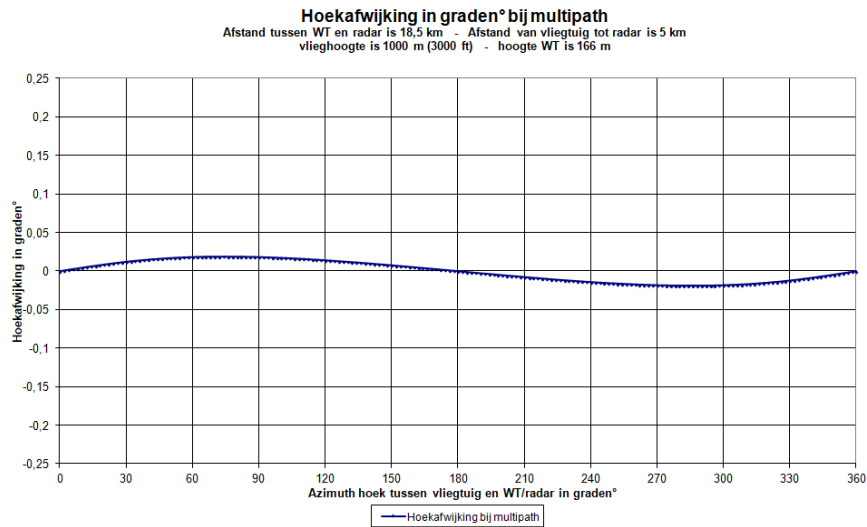
7.5.2.2. Fouten in hoekbe­paling.

De fouten door een mogelijke verschuiving van de radarbundel ten gevolge van reflecties met een klein verschil in de lengte van transmissiepad is kleiner dan 0.1°



In de volgende grafieken wordt de hoekfout aangegeven in functie van de azimuthhoek rond de antenne, voor verschillende afstanden van een vliegtuig tot de radarinstallatie. De referentie van 0° is de lijn radar/windturbine.

Een eerste reeks grafieken hoort bij een worst case waarbij voor de WT RCS een waarde van 500 m² wordt vooropgesteld. De bekomen hoekfouten kunnen dus als maximaal beschouwd worden, en blijven dus ruim binnen de bundelbreedte van de radarinstallatie.



Op te merken is dat dit verschijnsel niet uniek is bij windturbines, maar zich evenzeer voordoet bij grotere objecten met een zekere RCS (zoals hoogspanningsmasten).

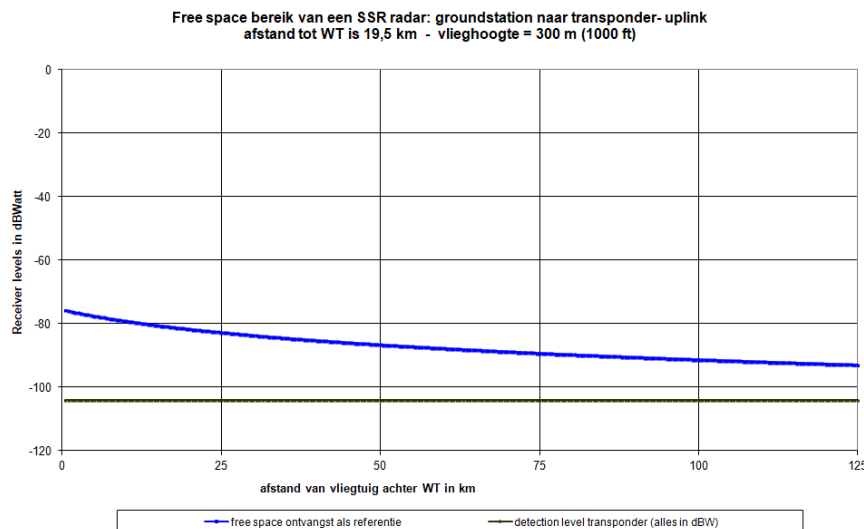
8. Studie SSR volgens § 4.4. van EUROCONTROL-GUID-0130

8.1. Probability of detection §4.4.9.

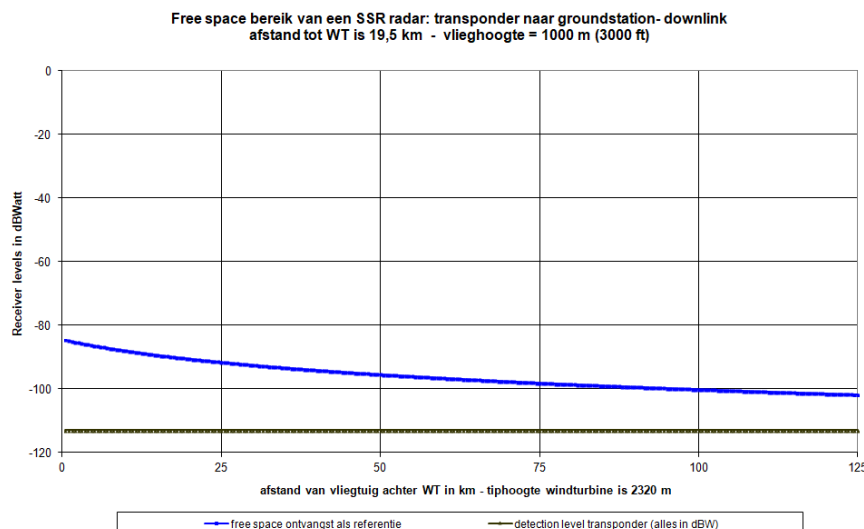
In eerste instantie stelt zich de vraag in hoeverre een windturbine of een windturbinepark de kans op “waarneming” van een vliegtuig door een SSR radar zal aantasten. Het belangrijkste gegeven in verband met een mogelijk verminderd bereik is de vrije radiopropagatie van het SSR signaal, wat dus betekent dat zowel een voldoende open transmissiepad (Fresnel) als de mogelijke “edge attenuation” dienen in aanmerking genomen te worden.

Eerst wordt, als referentie, het normale bereik van de SSR radar nagegaan.

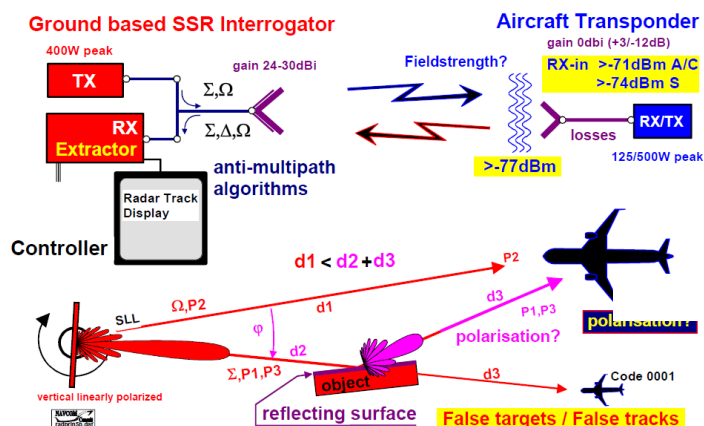
De parameters die hierbij voor de uplink in aanmerking worden genomen zijn een zendvermogen van het grondstation van 62 dBm (1.5 kW), en een ontvangstniveau van – 74 dBm (- 104 dBW) bij de transponder, waarbij een vliegtuigantenne met een “worst case gain” van -12 dBi wordt aangehouden. Zie ook de referenties bij Navcom [Greving 2007]. zoals hieronder ook weergegeven.



Voor de downlink werden volgende parameters aangehouden: een zendvermogen van de transponder van 200 W en een detectielevel van het grondstation bij – 83 dBm (-113 dBW) (dat is 6 dB boven het normale noise level ervan), met een antennagain van 24 dBi.



Het is duidelijk dat beide transmissiekanalen een gelijkaardige karakteristiek hebben, zodat voor een aantal effecten enkel het pad grondstation naar transponder wordt geanalyseerd.

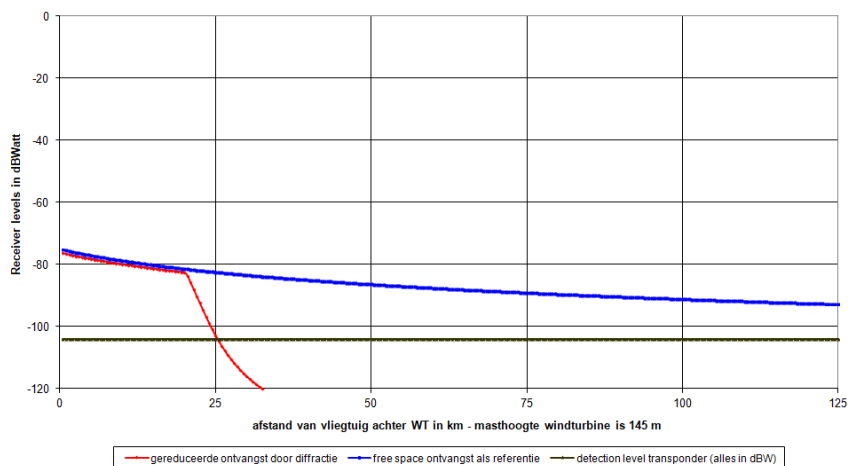


[Greving 2007]

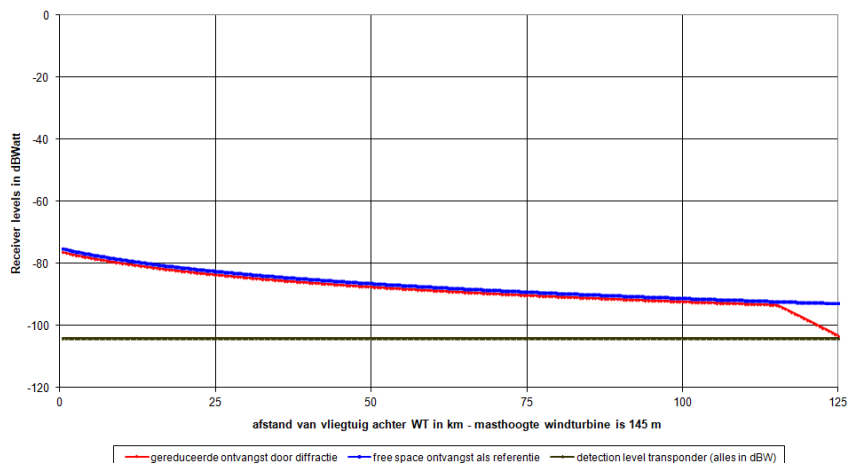
“Eerste keuze” masthoogte 145 m

De vermindering in signaalsterkte ten gevolge van de “edge attenuation” kan in eerste instantie worden ingeschat, rekening houdend met de vlieghoogte en voor de masthoogte van 145 m en de tiphoogte van 225 m. Bij een vlieghoogte van 1000 m (3000 ft) en meer is er nagenoeg geen vermindering in reikwijdte. Bij een vlieghoogte van 300 m (1000 ft) wordt de beperking in reikwijdte zowat 25 km, ten opzichte van de vaste mast met hoogte 145 m.

Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)

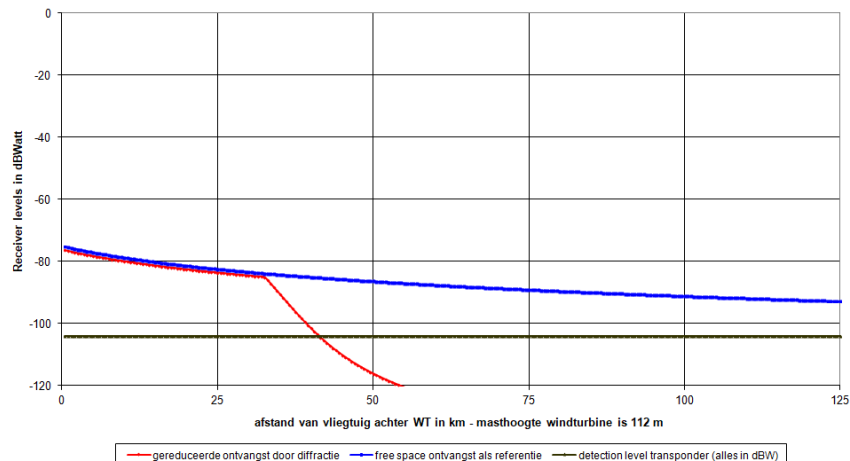


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

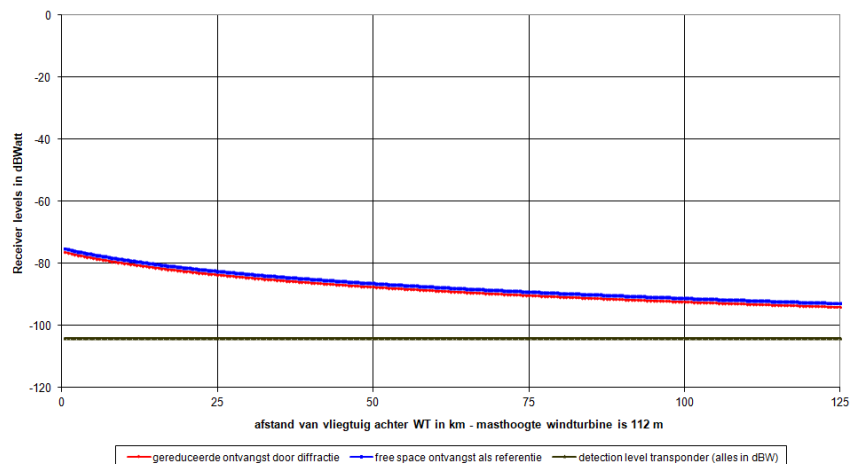


“Tweede optie” masthoogte 112 m

Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder- uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



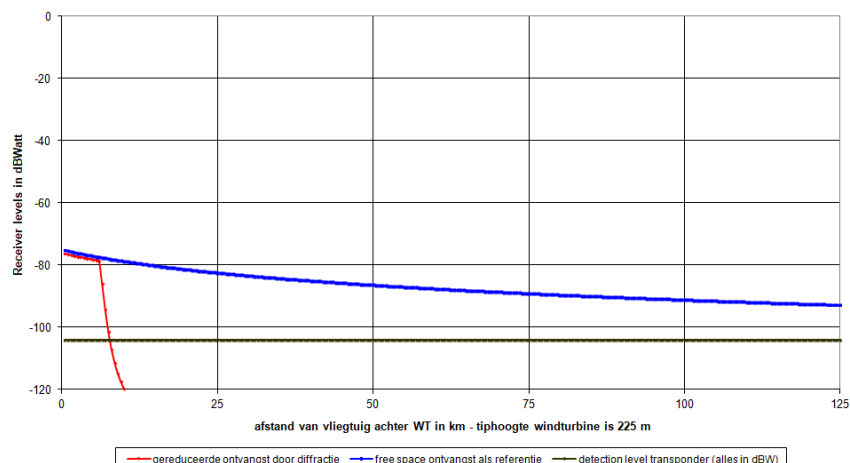
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder- uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

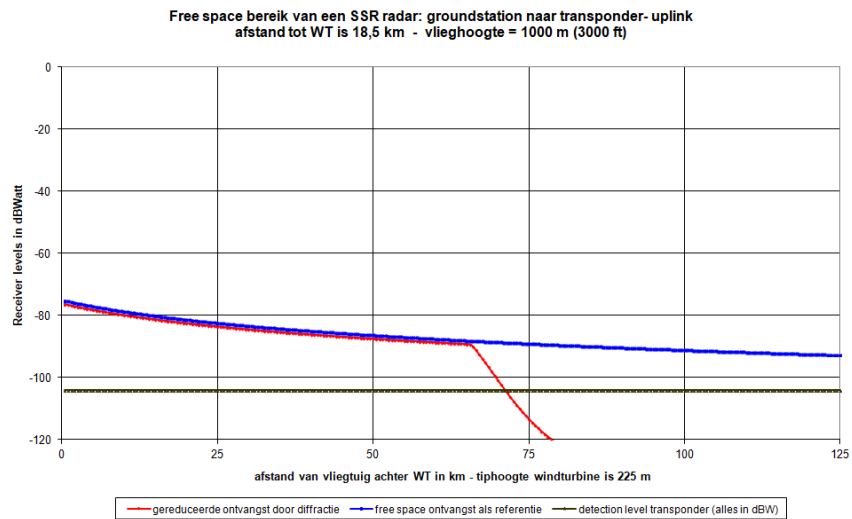


“Eerste keuze” tiphoogte 225 m

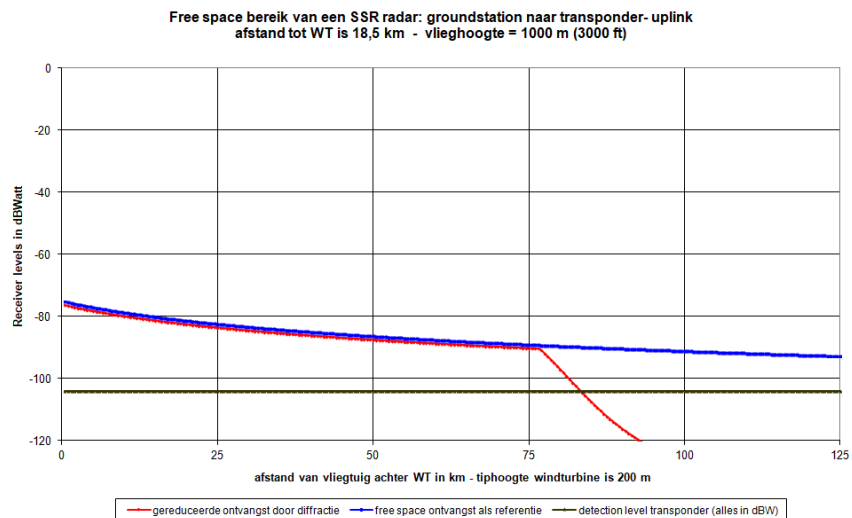
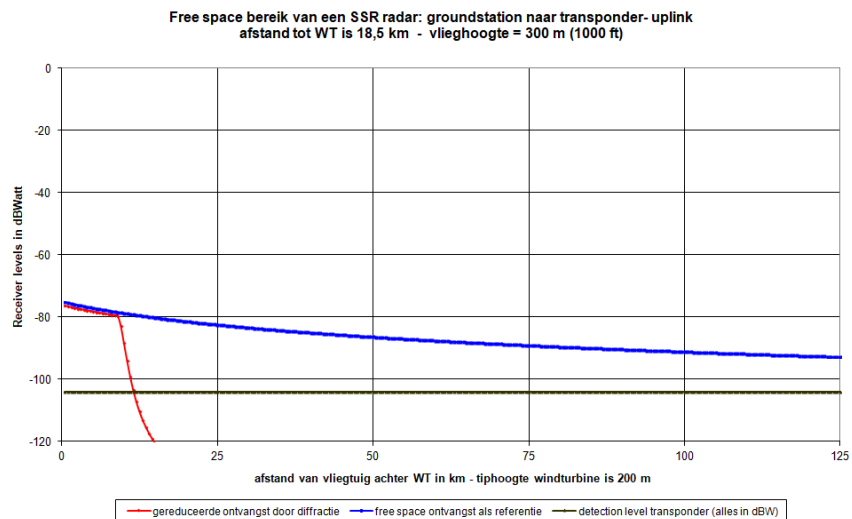
Een worst case treedt op wanneer een wiek van de rotor verticaal omhoog staat. Deze situatie wordt hierna weergegeven. Daarbij dient opgemerkt te worden dat SSR eerder een radiocommunicatie-systeem is, en dat de bewegende rotor eerder een wisselende signaalamplitude zal genereren. Zolang het signaal binnen het dectection level blijft zou er geen operationeel gevolg voor een correcte werking (demodulatie van de data) moeten optreden.

Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder- uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)

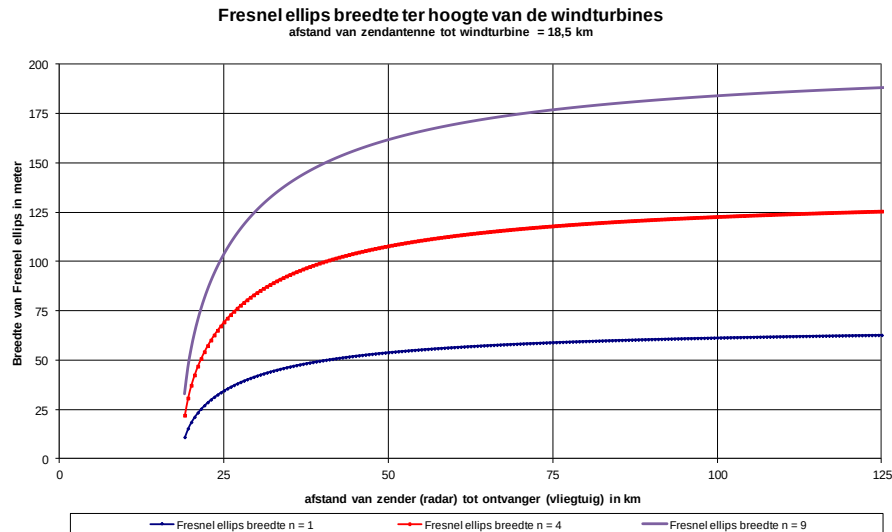




“Tweede optie” tiphoogte 200 m

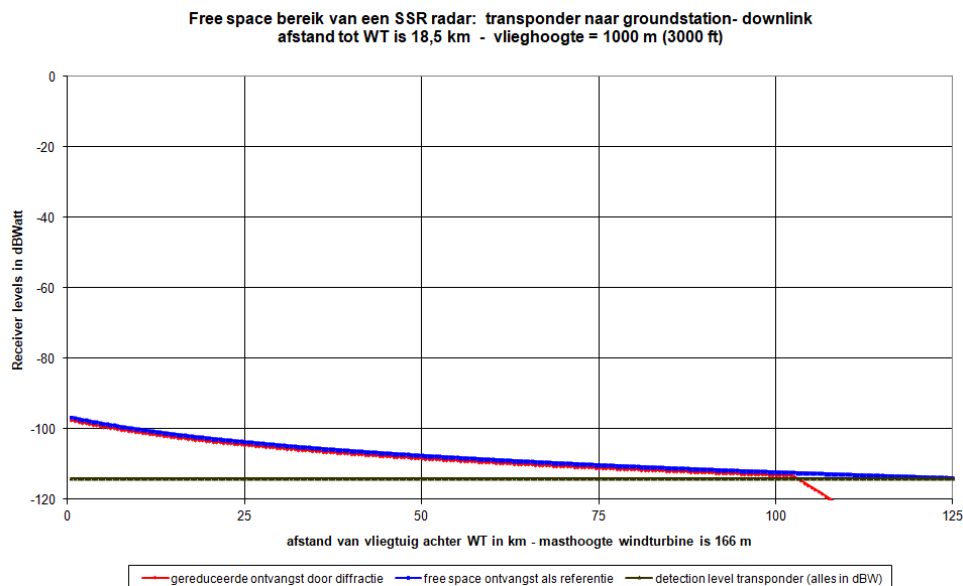


In verband met een voldoende vrije doorgang van de radiosignalen, dienen de Fresnel voorwaarden in aanmerking genomen. Onderstaande grafiek geeft de voorwaarden voor de ordes $n = 1$ (62,5 m), $n = 4$ (125 m) en $n = 9$ (187,5 m).



Voor de twee windturbines onderling van dit project stelt zich dus geen probleem van vrije propagatie tussendoor. Ook ten opzichte van de verder gelegen windturbine Skaldenpark SK3 en de windturbine Volvo Trucks WTN2 is er geen mogelijke impact (670 m).

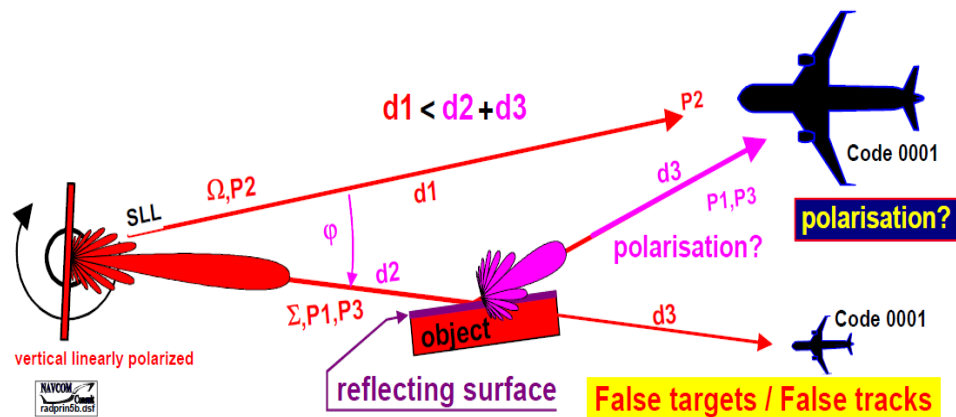
Tenslotte wordt nog nagegaan in hoeverre zijlobes van de SSR antenne binnen een zekere afstand, een voldoende hoog signaalniveau kunnen genereren bij de transponder van een vliegtuig, waarbij een “false target detectie” zou kunnen ontstaan.



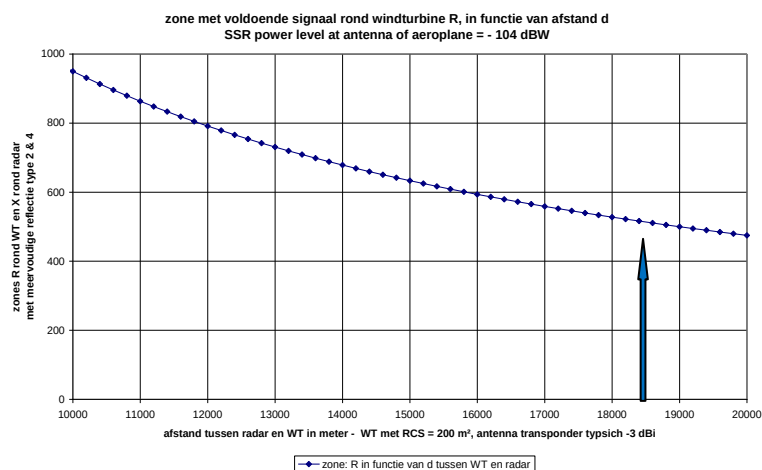
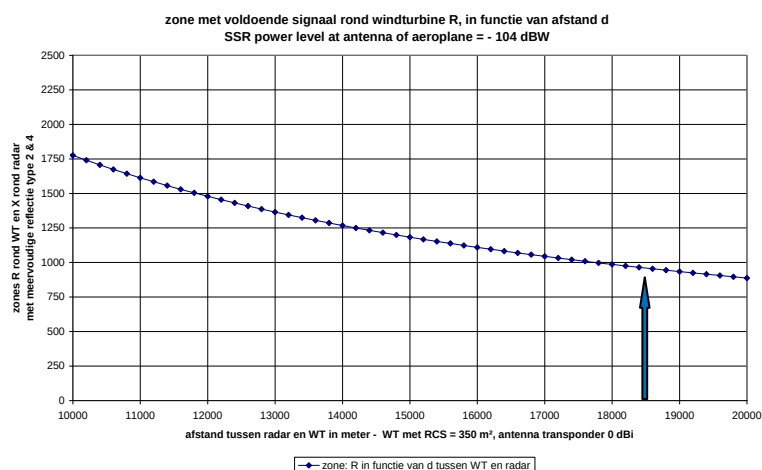
Het is duidelijk dat het windturbinepark op dit effect slechts een geringe invloed kan hebben, gezien het geringe signaalniveau dat tegenover het ruisniveau van de transponder slechts beschikbaar is.

8.2. SSR false target reports §4.4.10.

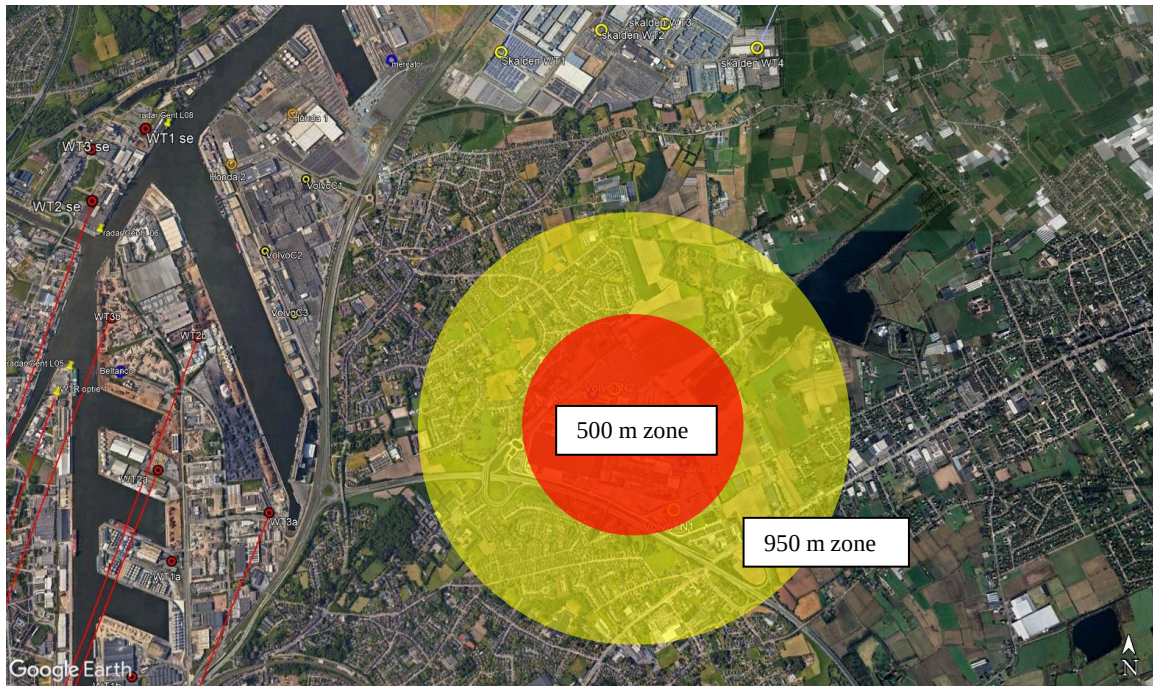
Door diffractie op een object kan het signaal van een SSR radarsysteem een vliegtuig in een andere richting dan de feitelijke hoofdbundel bereiken, zoals in onderstaande figuur geschetst.



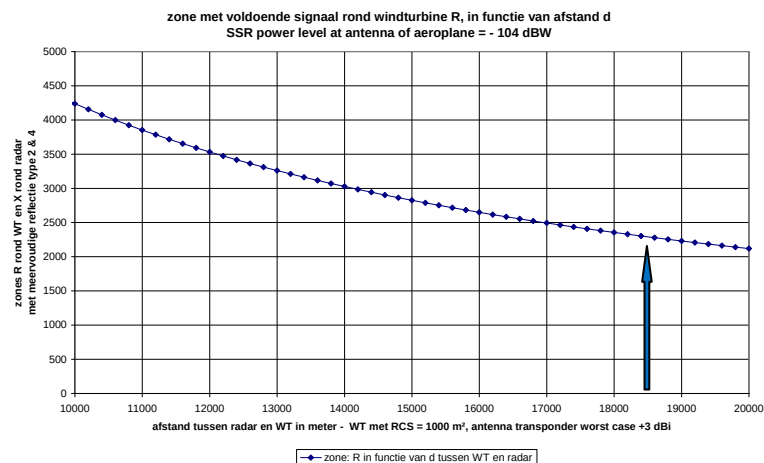
Vraag daarbij is uiteraard binnen welke afstand $d3$ de transponder een voldoende signaal ontvangt. In de volgende grafieken worden een paar combinaties van RCS van een WT en van de gain van de transponderantenne gegeven.



Onder normale condities kunnen deze effecten zich voordoen binnen een zone van 500 m tot maximaal 950 m rond de windturbines, zoals deze aangegeven in onderstaande figuur.



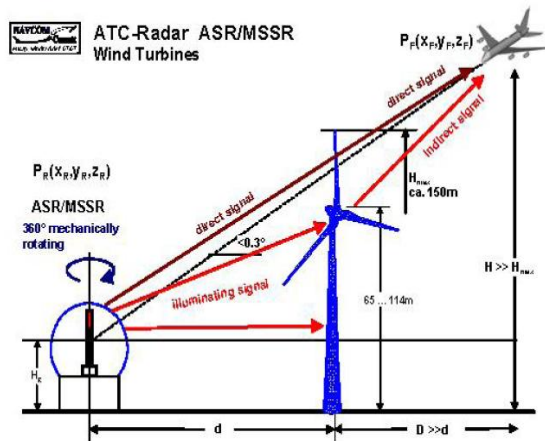
Onder worst case condities kunnen deze effecten zich voordoen binnen een zone die zich uitbreidt tot 2,1 km rond de windturbines.



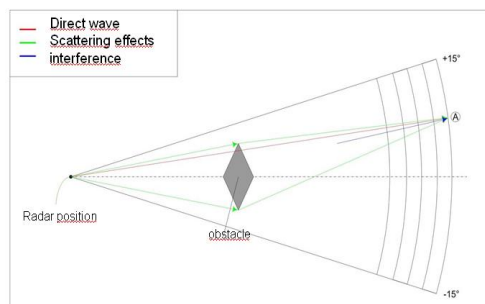
In principe reageert een SSR systeem slechts op een eerste impuls binnen de puls-herhalingsperiode van het SSR systeem. Daartoe wordt een systeem met meerdere pulsen uitgezonden (P1, P2 en P3). Omdat multiple reflecties steeds later in de tijd zullen ontvangen worden dan het directe signaal, zullen deze effecten normaal gezien door de signal processing weggefilterd worden.

8.3. SSR 2D position errors §4.4.11.

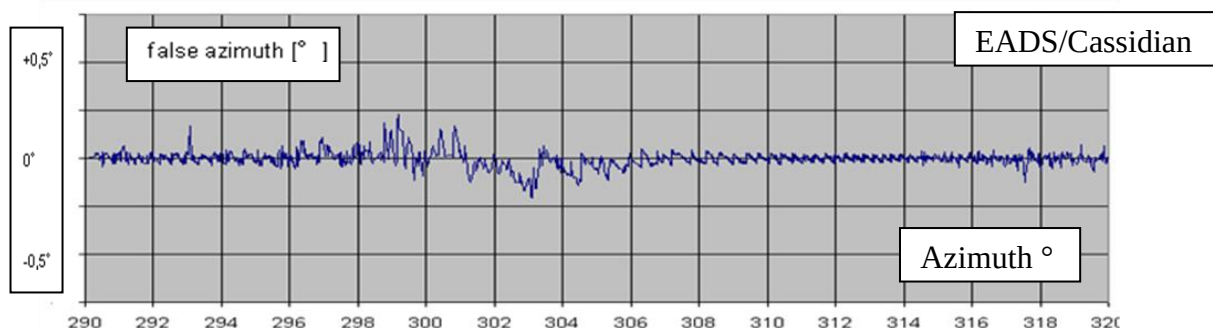
Door het vectorieel samenstellen van verschillende signalen kan een verschuiving in de hoofdrichting van het signaal optreden. Dit wordt meestal beschreven als een verstoring van het antennepatroon (hoekfout), en waardoor een voorwerp in een foutieve richting zou waargenomen worden.



EADS/Cassidian

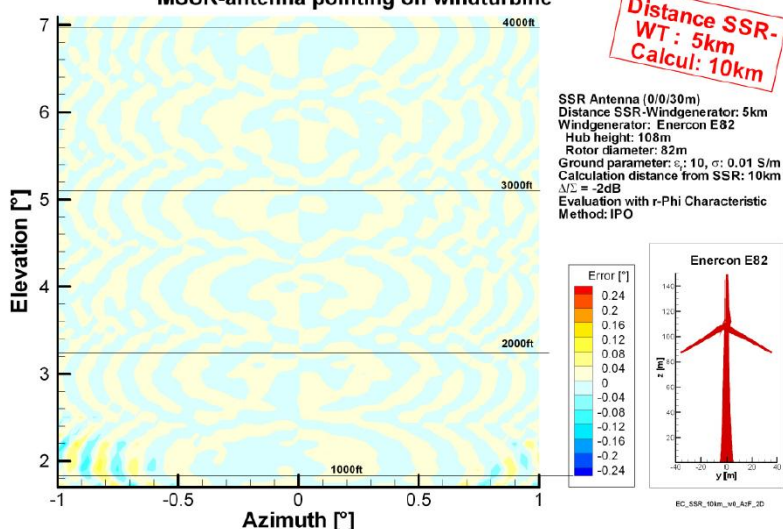


De volgende figuur is een gemiddelde van een meetcampagne, uitgevoerd door Cassidian [presented at WTTF Eurocontrol, October 2011].



NAVCOM Consult
mstr_wt_angleerror1.cst 12/06

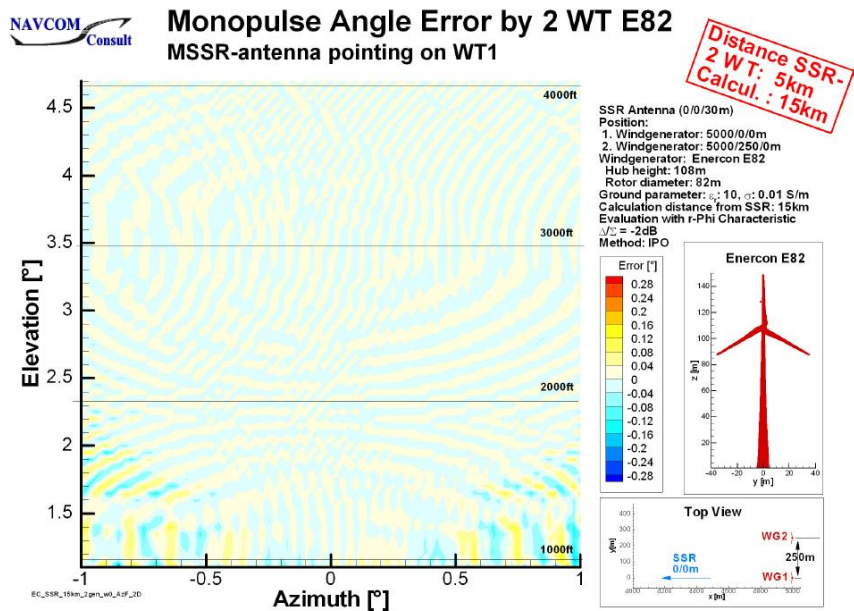
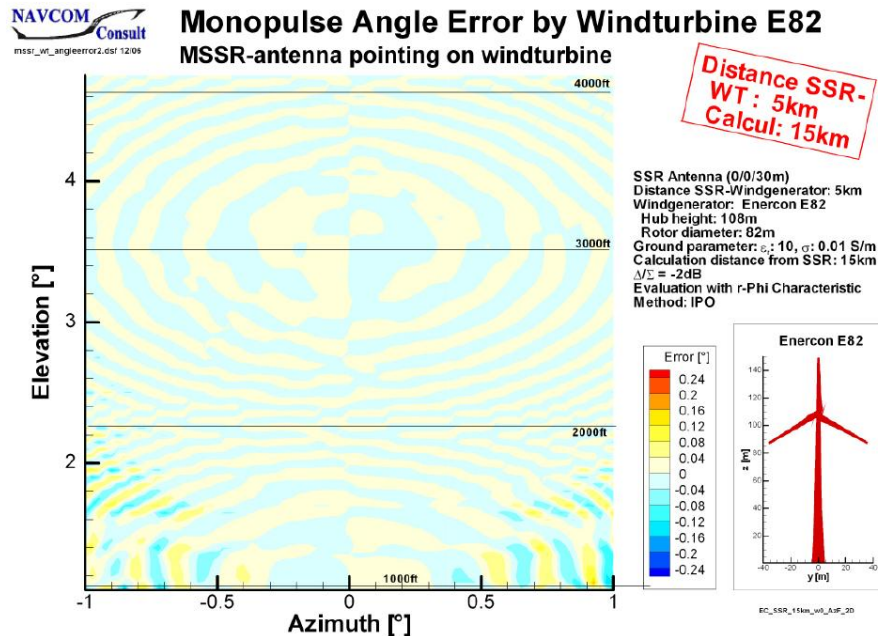
Monopulse Angle Error by Windturbine E82 MSSR-antenna pointing on windturbine



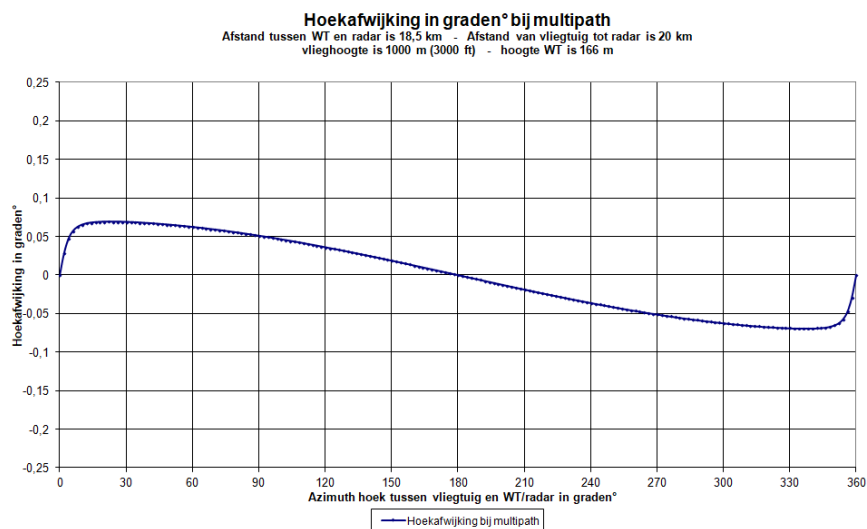
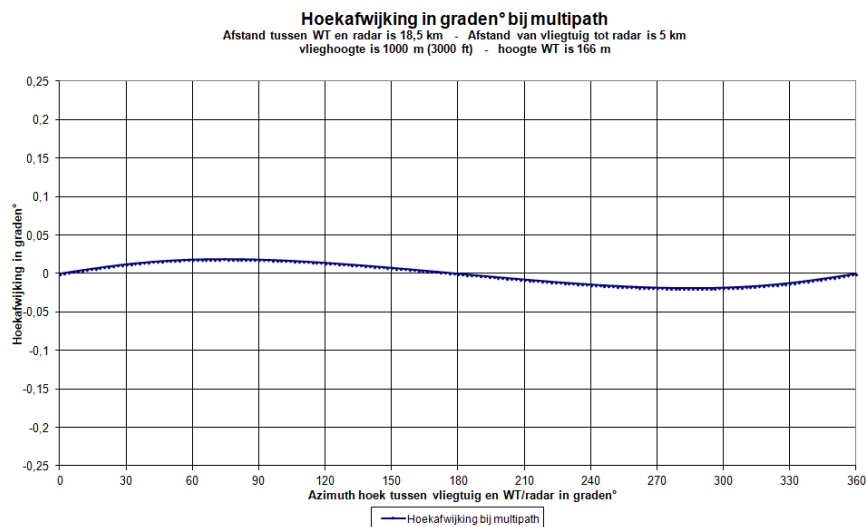
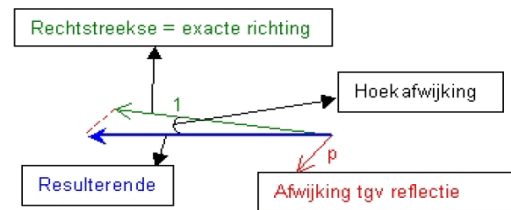
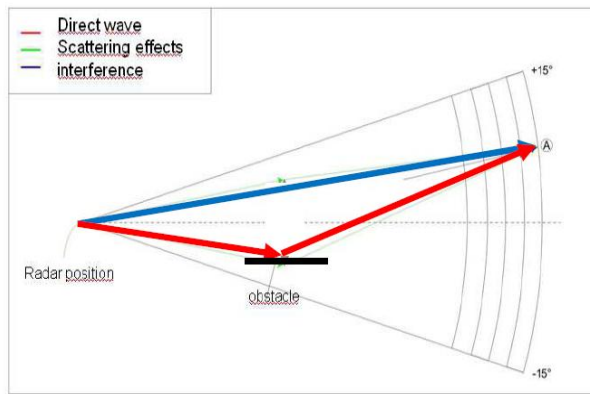
Uit een studie van Navcom [Greving 2007] voor een Enercon E82 windturbine, met een masthoogte van 108 m en een rotordiameter van 82 m (of dus een tiphoogte van 150 m), blijkt dat deze fouten beperkt blijven tot een grootte orde van maximaal 0.1° , waarbij nog dient aangestipt te worden dat deze MSSR radar in samenwerking met de aanwezige PSR wordt gebruikt. Een paar gegevens uit de betreffende studie van Navcom [zie referentielijst – Greving 2007] worden ter illustratie hieronder weergegeven.

Deze waarde stemt ook volledig overeen met de waarden uit eerdere studies in verband met de mogelijke verstoring van het radarantennepatroon in aanwezigheid van windturbines in de omgeving.

Gelijkaardige waarden zijn te verwachten voor de windturbine met een masthoogte van 145 m en een rotordiameter van 170 m, echter wel op een afstand van 18,5 km.



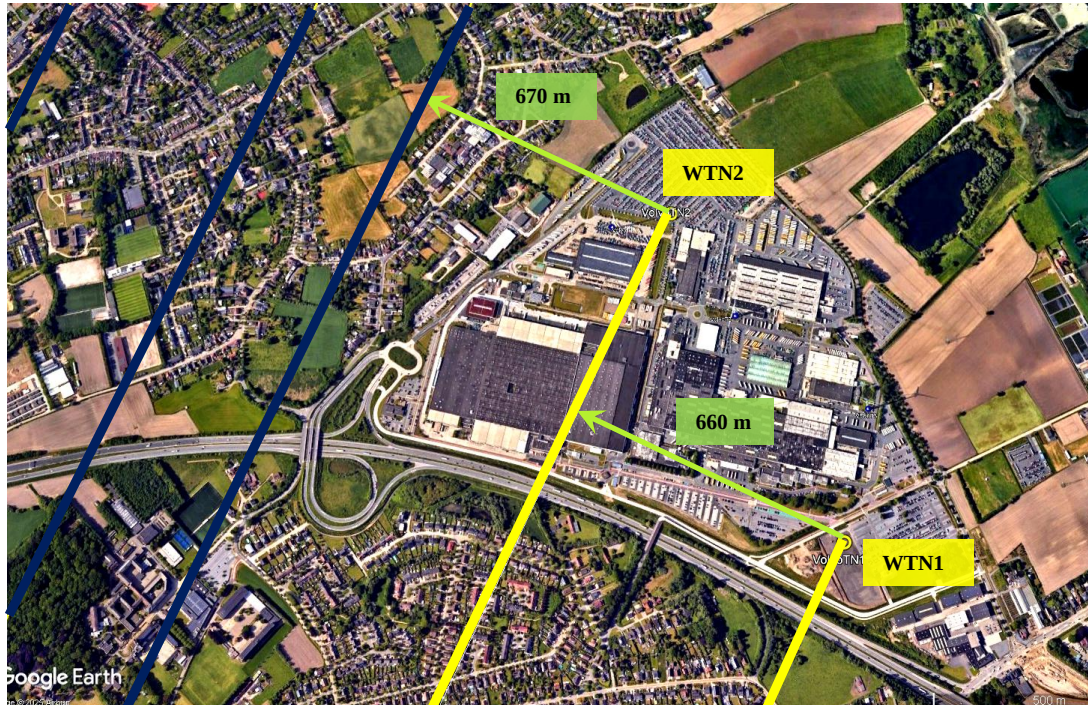
Een gedetailleerde analyse toont gelijkaardige hoekfouten aan, bij een afstand van 18,5 km tussen windturbines en radarinstallatie. Het principe van multipath propagatie wordt eerst nog schematisch weergegeven in de eerste van de volgende figuren.



De azimuth hoekfout is van de grootte-orde van 0.1° en valt volledig binnen de eigen nauwkeurigheid en resolutie van de radar.

9. Conclusies

Om het geheel gemakkelijk te kunnen kaderen, toont de volgende figuur nog eens de huidige operationele windturbines (blauw) en de geplande vervangingen (geel), evenals de radarassen naar de dichtstbij gelegen windturbines van het Skaldenpark (donker blauw).



Het “Guideline” document van EUROCONTROL-GUID-0130 stelt alleen een exclusieve voor een zone van 500 m rond een radarinstallatie. Bij een zone tot 22 km wordt door EUROCONTROL geen a priori exclusieve gesteld, maar dient een DEA assessment uitgevoerd te worden indien de objecten in de Line of Sight (LoS) liggen, en zowel voor de PSR als de SSR. Deze richtlijnen worden ook als leidraad gebruikt voor militaire installaties.

Uit de bovenstaande analyse kan het volgende geconcludeerd worden voor de “eerste keuze” van type windturbine met een masthoogte van 145 m en een tiphoogte van 225 m.

9.1. 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.

9.2. Voor het specifieke project “Volvo Trucsks Gent” werd ook de bestaande toestand geanalyseerd, met de verder gelegen Skaldenpark windturbines in ontwikkeling, en ook als referentie de huidige windturbines op de terreinen van Volvo Trucks, die zullen vervangen worden. Er kan besloten worden dat er binnen het project “Volvo Trucks Gent” geen clustering van de nieuwe windturbines onderling zal optreden (660 m tussen de radarassen).

Dit project van repowering “Volvo Trucks WTN1/2” kan als een afzonderlijke eenheid beschouwd worden ten opzichte van het geplande windturbinepark “Skalden SK1/3”.

Dit geldt eveneens voor de twee windturbines onderling van dit repowering project.

Een mogelijke mitigatie door de diameter van de mast dient niet meteen meegenomen te worden omwille van de draaiende rotor tijdens de waarnemingen.

- 9.3. Er kan gesteld worden dat enkel voor de laagste radarbundel een beperkte vermindering van reikwijdte zal optreden voor eerder kleine vliegtuigen (op lage vlieghoogte). Het dominante effect is het feit dat extra clutter kan waargenomen worden door de bewegende rotor van de windturbines.

Deze extra clutter zorgt via het CFAR algoritme voor een beperkte gevoeligheid van de ontvanger in deze zone. Een mogelijke recente software upgrade van de signal processing laat toe om dit effect te minimaliseren en zelfs (nagenoeg) volledig weg te werken. Hiertoe dienen dan wel een aantal parameters specifiek aan de aanwezigheid van de windturbine(s) aangepast te worden (zie annex 2 en 3).

- 9.4. Algemeen kan gesteld worden dat er een kleine vermindering in bereik zal optreden voor vliegtuigen op erg lage hoogte en met een kleine RCS op de aslijn radar/windturbine, gelijkaardig aan de effecten van de aanwezige windturbines van het Skaldenpark, en van de huidige operationele windturbines op hetzelfde terrein.

Er zullen geen valse echo's of meervoudige reflecties waargenomen worden binnen normale omstandigheden van vlieghoogtes en RCS waarden voor de vliegtuigen.

- 9.5. Zowel voor de PSR als de SSR kan gesteld worden dat mogelijke fouten in positie in azimuth en range, binnen de eigen nauwkeurigheid van de radar liggen.

- 9.6. Als conclusie kan dus gesteld worden dat er geen significante negatieve impact is van het project op de correcte werking van de radar van Semmerzake.

- 9.7. Bovendien dient vermeld te worden dat de aanwezige software voor de verwerking van de ontvangen signalen (vb. Intersoft VCC – zie annex 3) toelaat om een zekere mitigatie in te voeren voor de waarnemingscellen waar de windturbine zich bevindt.

Zodat de impact van dit windturbineproject in voorkomend geval tot een minimum kan beperkt worden, dan wel volledig geneutraliseerd.

Voor de tweede optie van type windturbine met een masthoogte van 112 m en een tiphoogte van 200 m gelden gelijkaardige conclusies, waarbij echter het bereik van de radar van Semmerzake op de LoS radaras van “Volvo Trucks WTN1/2” verder zal reiken dan bij de basisoptie met een masthoogte van 145 m en een tiphoogte van 225 m.

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.

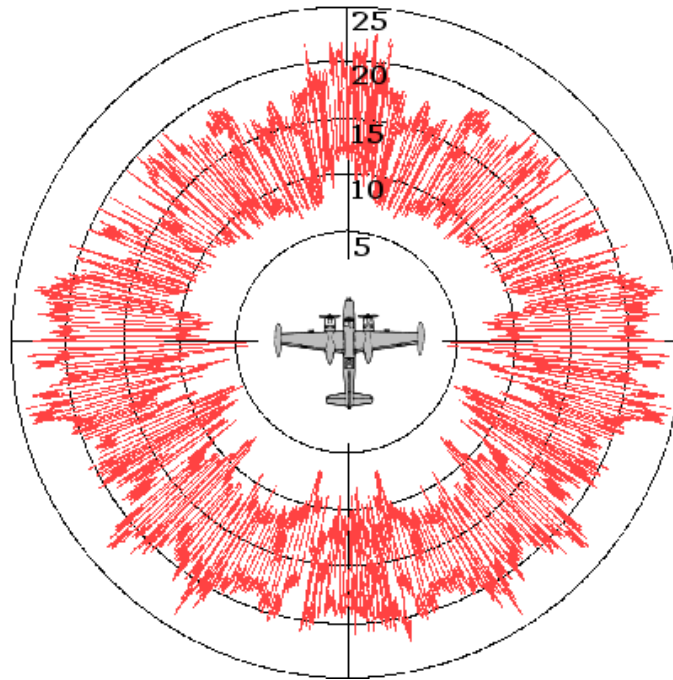
A1.1. Radardoorsnede van vliegtuigen en windturbines

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.

A1.1.1. RCS van vliegtuigen

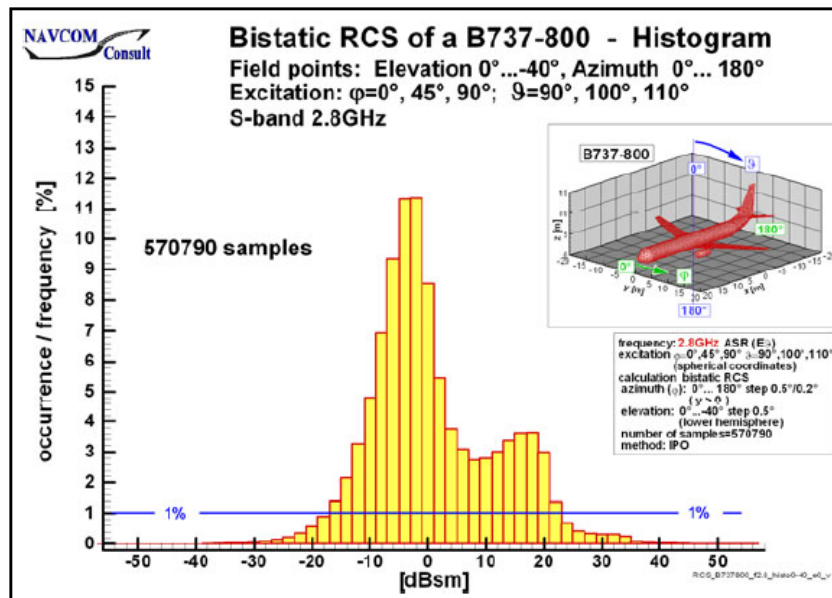
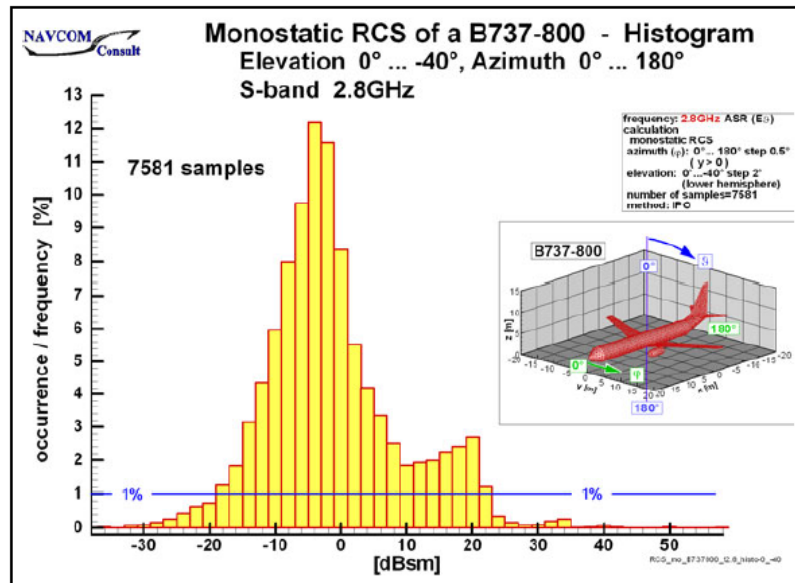
In de vakliteratuur worden een aantal RCS karakteristieken van vliegtuigen gevonden. Een typisch voorbeeld voor de monostatische RCS van een groot transportvliegtuig wordt hieronder gegeven.



RCS-waarden in dB square meter (dBsqm)

Hieruit blijkt dat de RCS waarde van een vliegtuig geen vast getal is, maar varieert volgens de inval- 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 100m^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 m²) en 20 dBsqm (of dus 100 m²), en met mogelijke korte piekwaarden tot 30 dBsqm (1000 m²).

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).

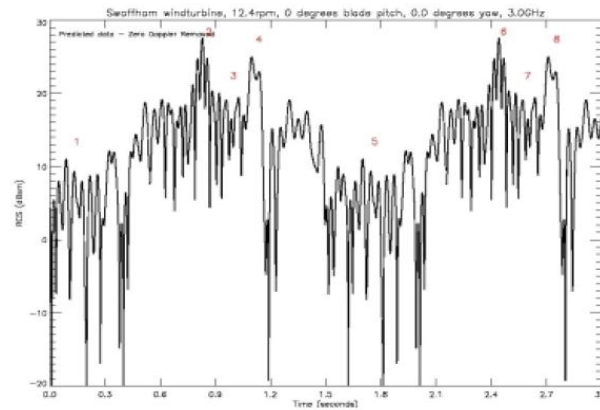
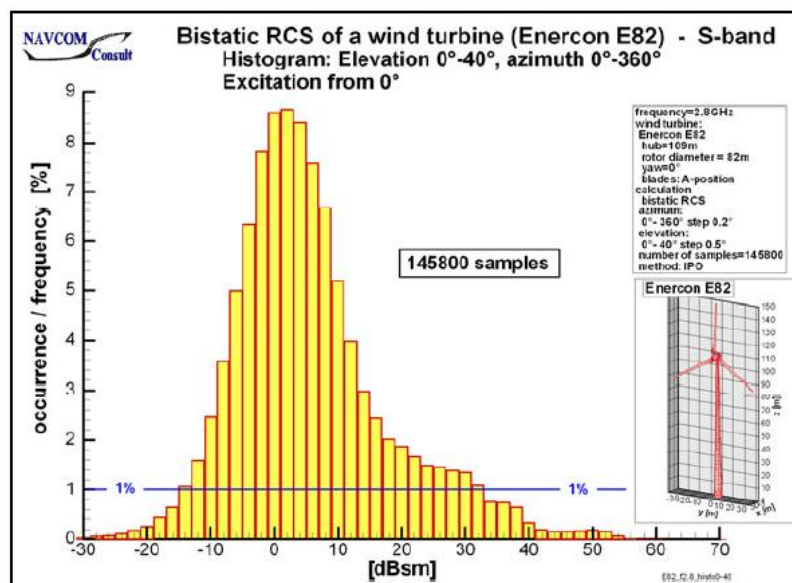
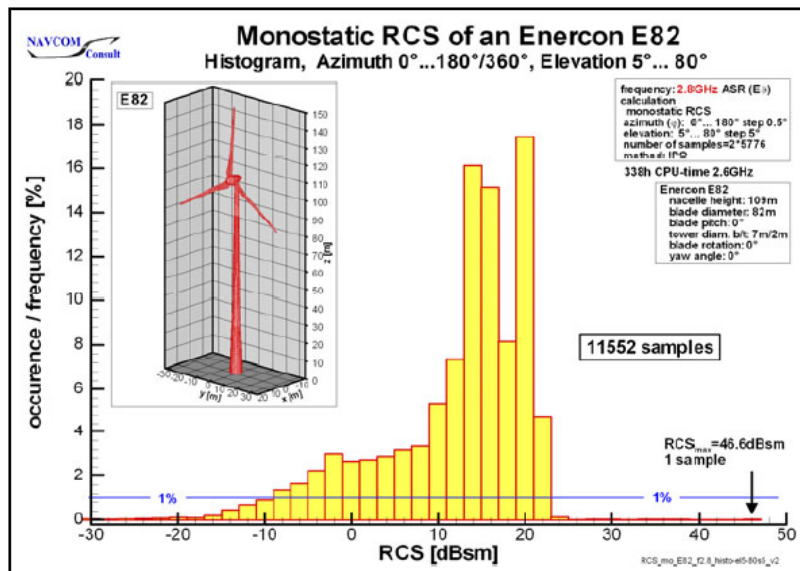


Figure 4-5: The Swaffham turbine RCS versus time at 0° pitch, 0° yaw, with the zero-Doppler component removed.

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 probabieliteit 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):

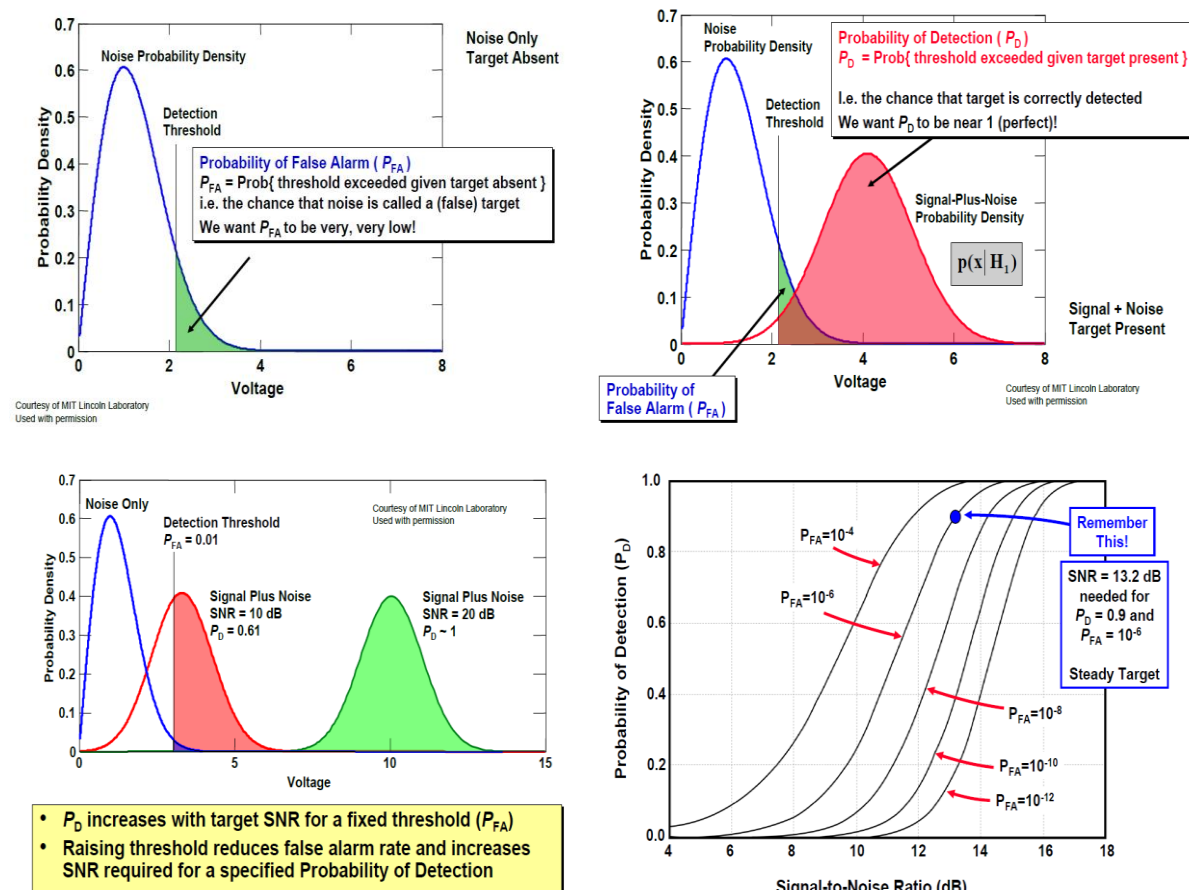
$$f(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{AV}^2} e^{-2\sigma/\sigma_{AV}} U(\sigma)$$

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

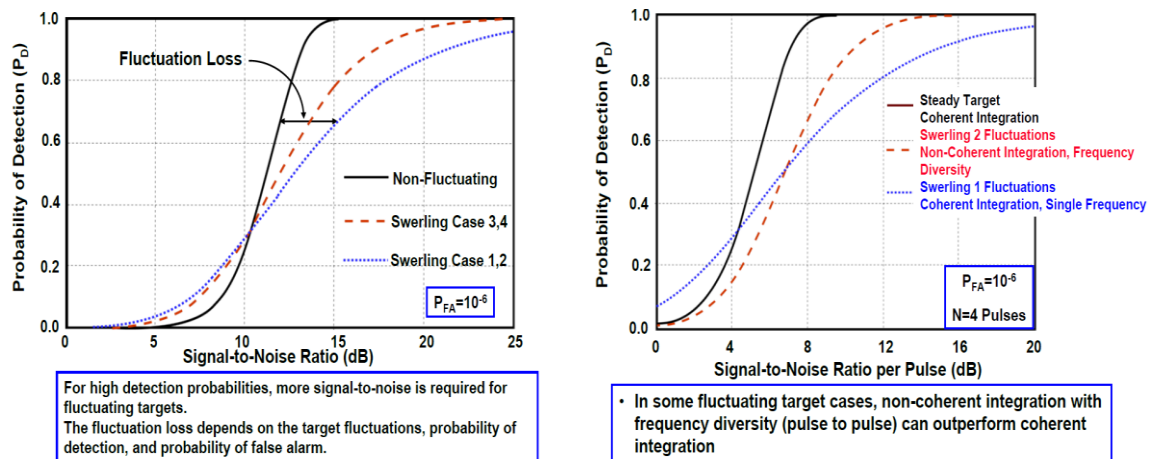
A.1.2. Probabiliteit van Detectie (PD)

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:



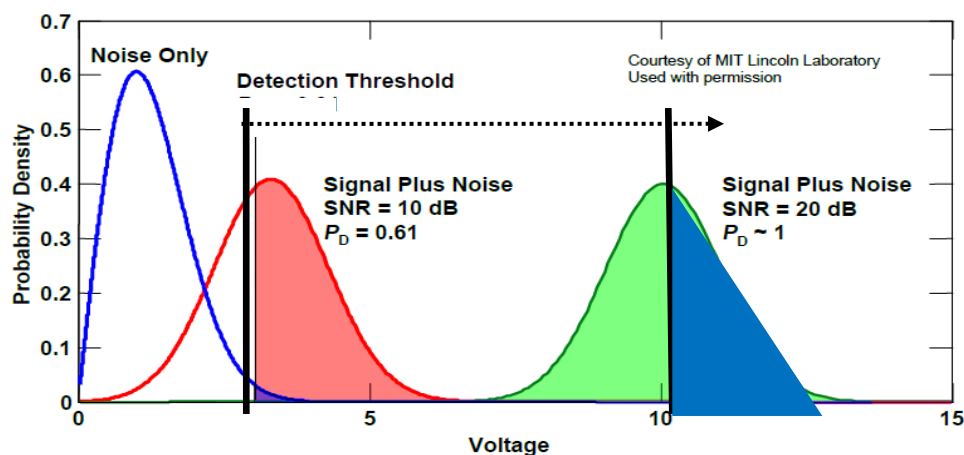
Bij een fluctuerende RCS van een object, en een $P_{fa} = 10^{-6}$ wordt PD (%) in functie van de S/N verhouding gegeven door de volgende curven, waarbij al dan niet een integratie van de opeenvolgende radarpulsen wordt gedaan in de signal processing. Belangrijk in de figuren is het geval SW1, met een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



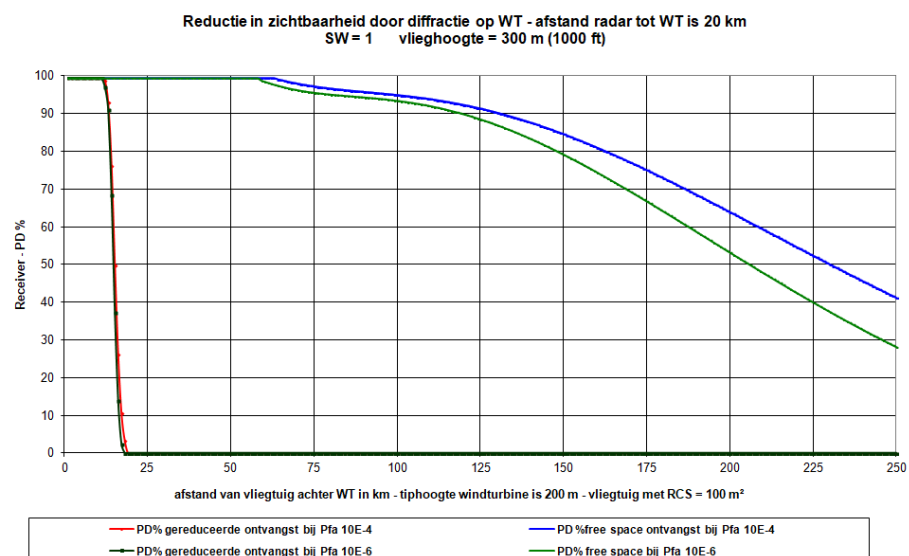
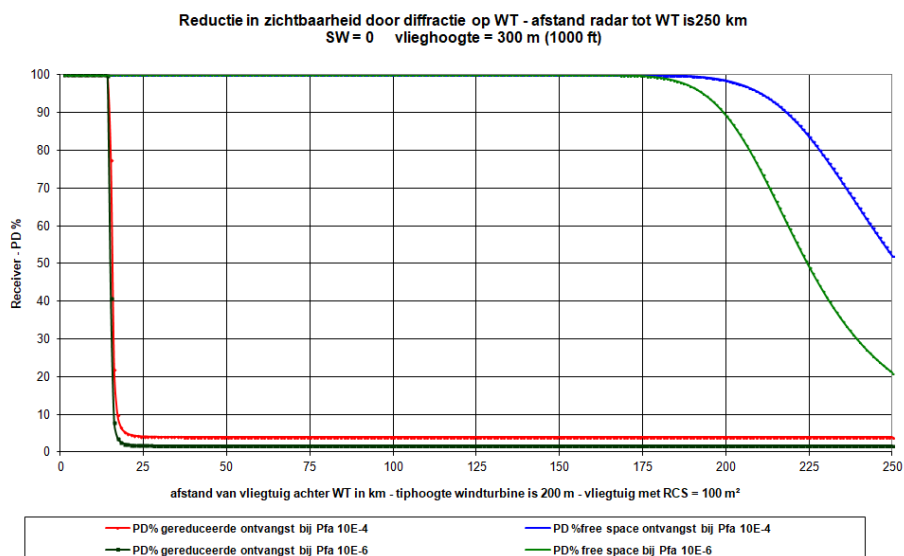
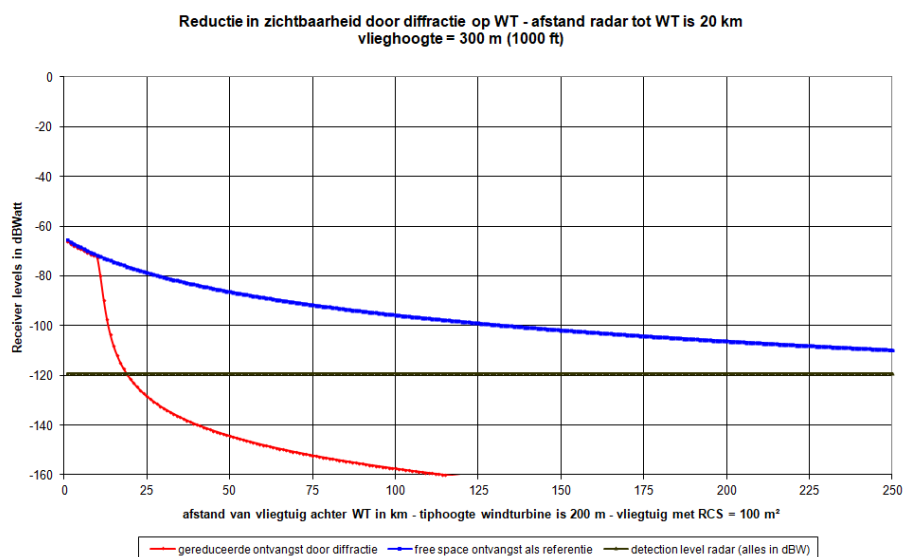
Indien een inschatting kan gemaakt worden van het ruisniveau (meestal de noise floor van de receiver), het gereflecteerde signaalniveau van het object, het Swerling model van het object en een vooropgestelde P_{fa} waarde (of gekoppeld daaraan de ingestelde threshold), is het dus mogelijk een grootte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

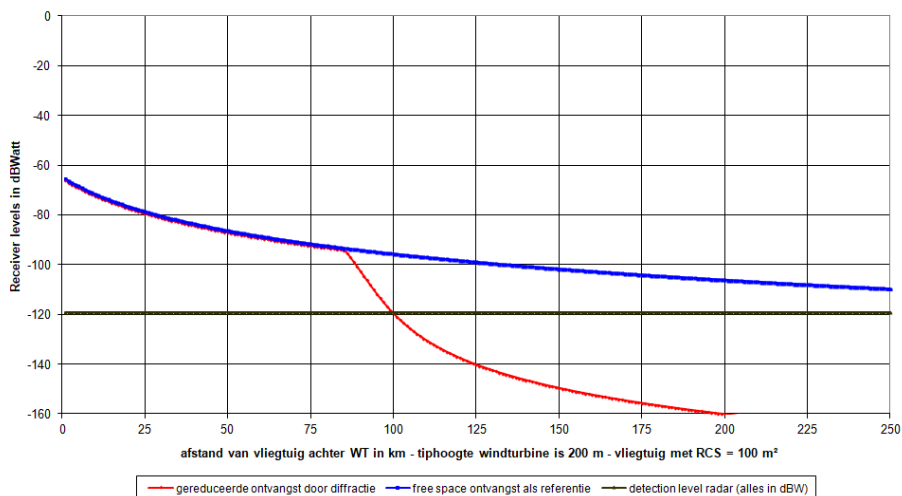
Hierbij wordt de tiphoogte van 200 m als voorbeeld meegenomen, en een gemiddelde referentieafstand tussen radar en windturbine(s) van 20 km, en $RCS_{vliegtuig} = 100 \text{ m}^2$.

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

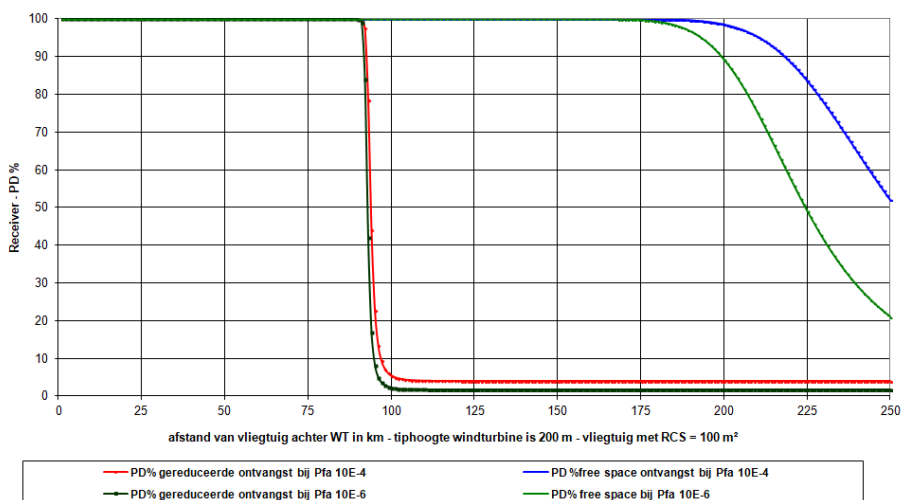


A.1.4. Probabiliteit van Detectie bij een vlieghoogte van 1000 m

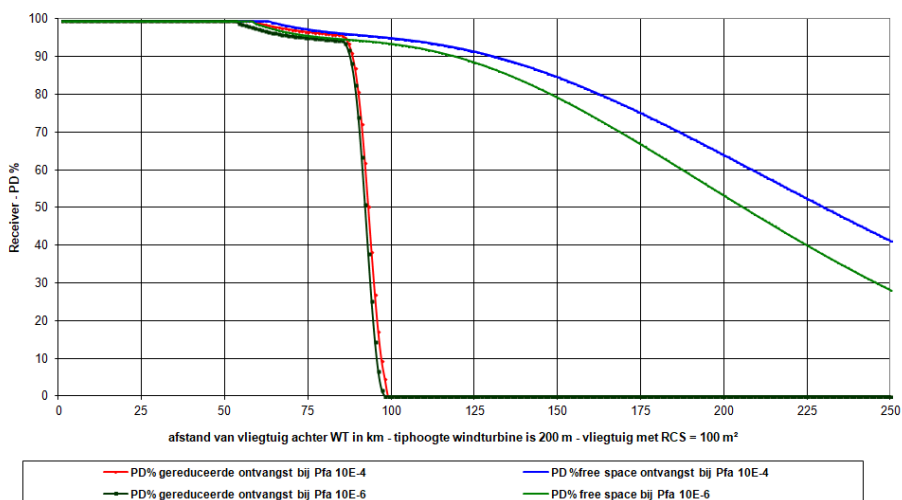
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 20 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 20 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 20 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

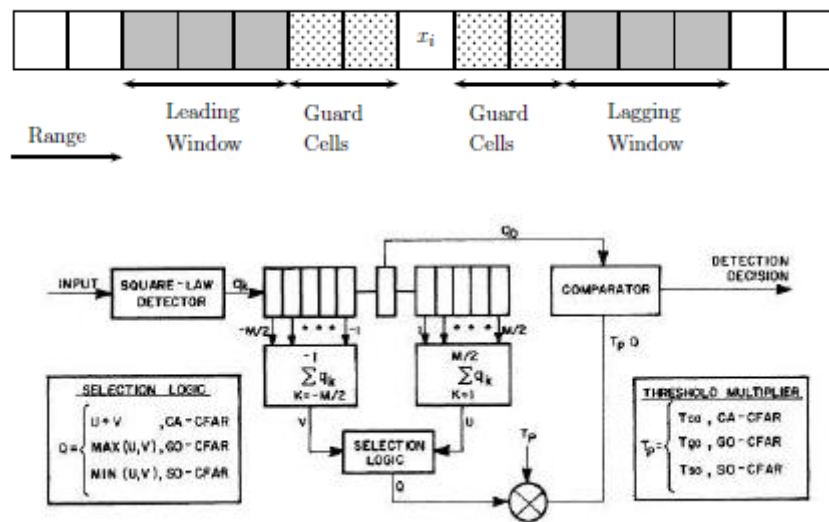


Annex 2. CFAR algorithmes

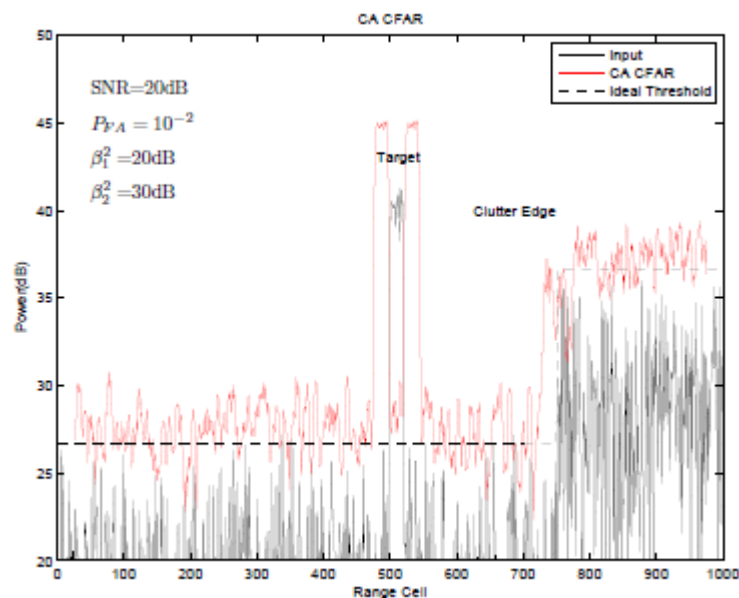
CFAR algorithmes zijn ontwikkeld om de achtergrond ruis van regen, wolken, en andere kleine bewegende voorwerpen uit te filteren. Dit type van achtergrondruis wordt clutter genoemd, en de algorithmes zijn typisch ontwikkeld voor ruis die zich nogal gelijkmatig uitspreidt over een groter gebied.

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.

Verscheidene 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 algoritme berekent zonder meer een gemiddelde waarde, en heeft behoorlijke eigenschappen voor een uniforme ruisverdeling.



Meer geavanceerde CFAR algorithmes zijn GOCA en 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 algorithmes.

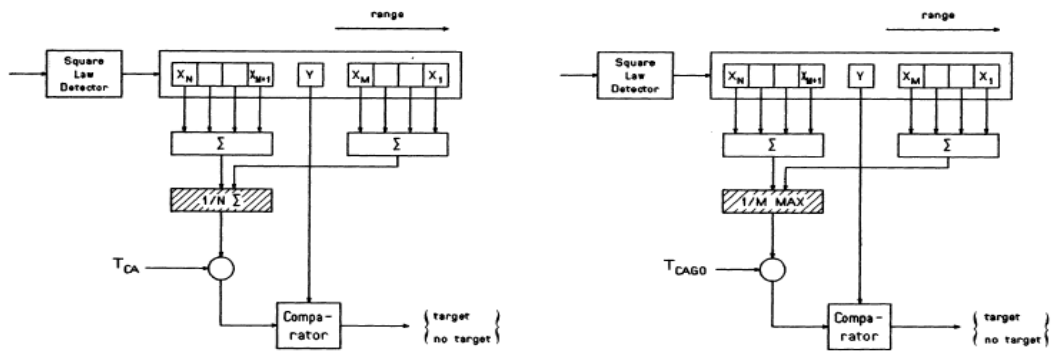
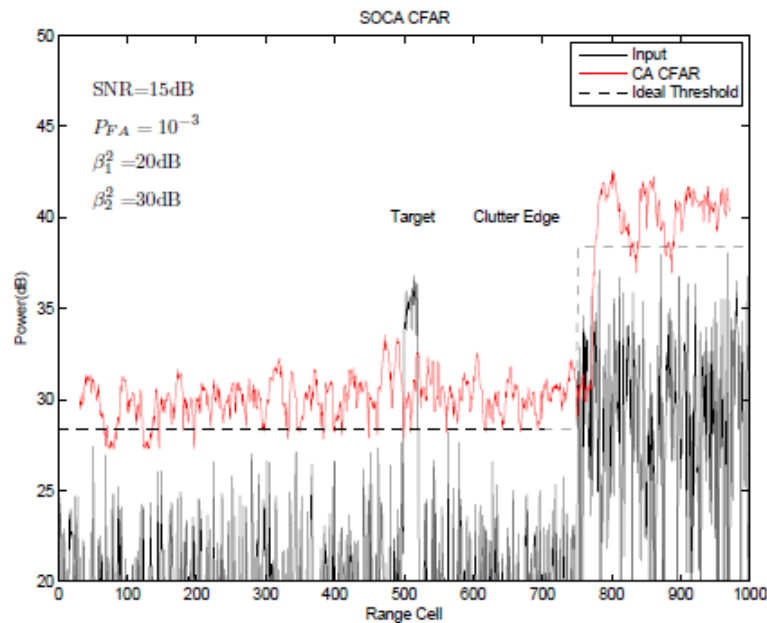
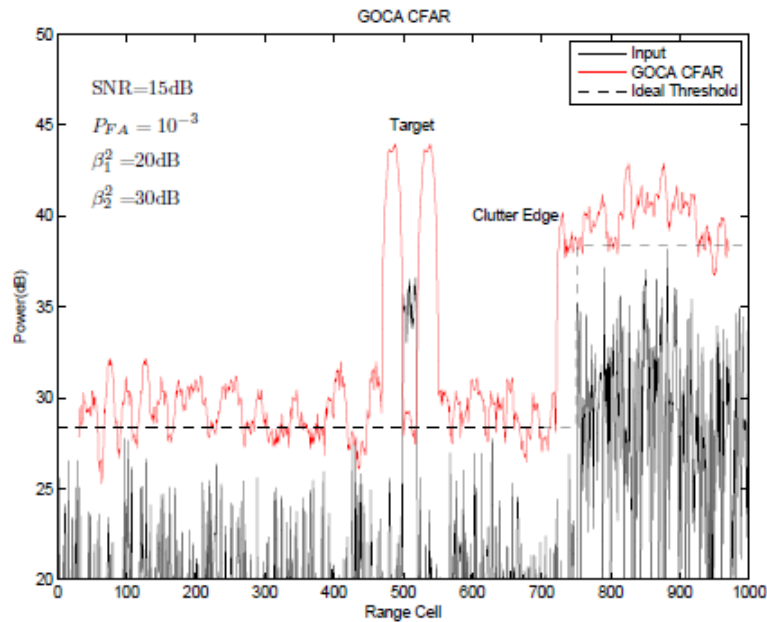
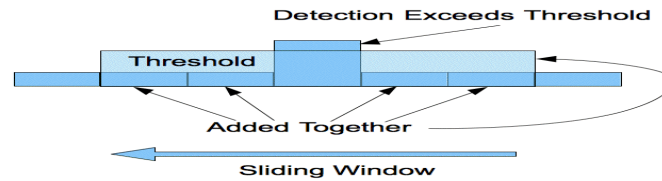


Fig. 2. Comparison of CA and GAGO CFAR procedures.



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.

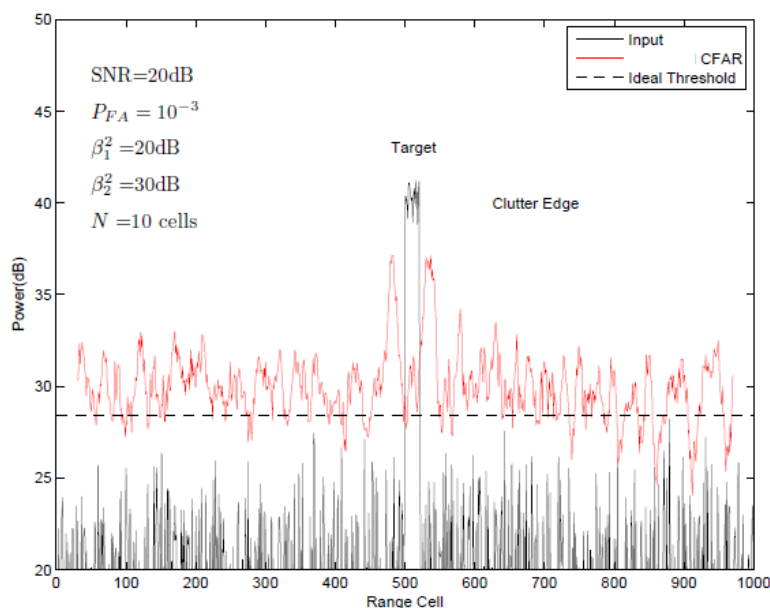


Wanneer een SOCA algoritme wordt toegepast, is er geen invloed van een verminderde gevoeligheid, maar wordt het effect van “clutter edge” wel waargenomen.

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:

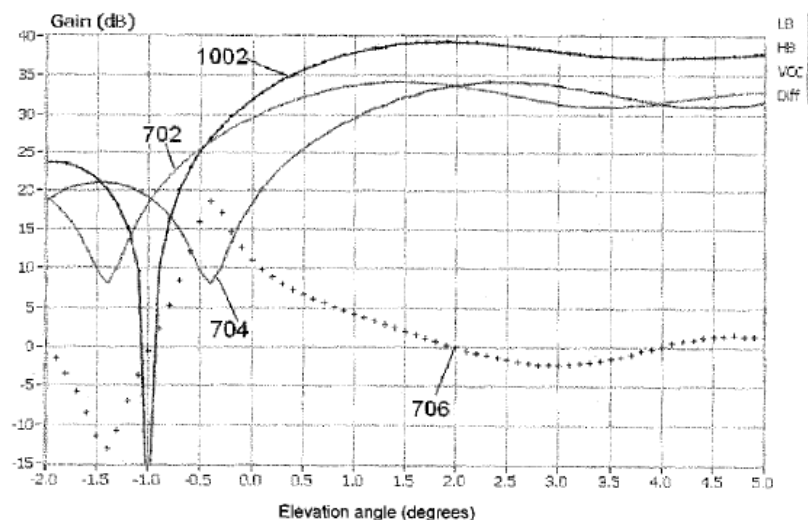


Reductie van het clutter effect zelf kan bekomen worden door toepassing van het stealth principe op de rotor van de windturbine. Proeven met radarabsorberende materialen hebben uitgewezen dat ten hoogste een vermindering van de clutter met 10 dB mag verwacht worden. Dit is onvoldoende om het clutter 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 algoritme 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.

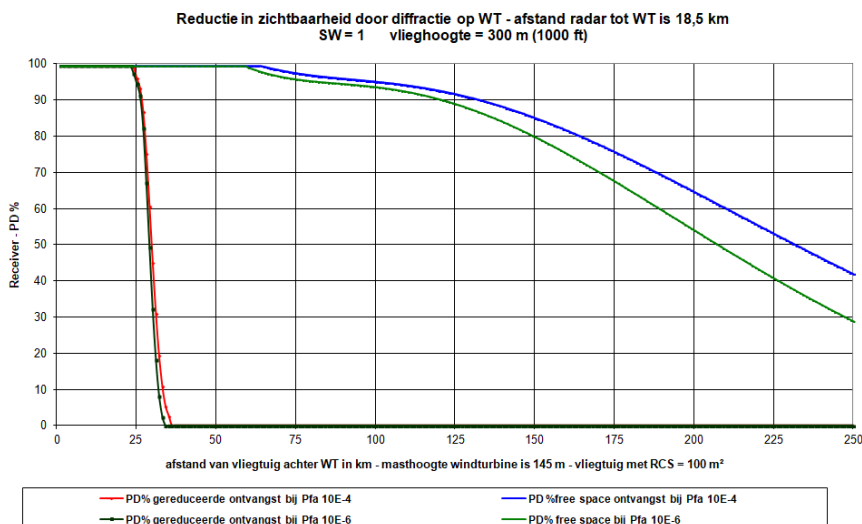
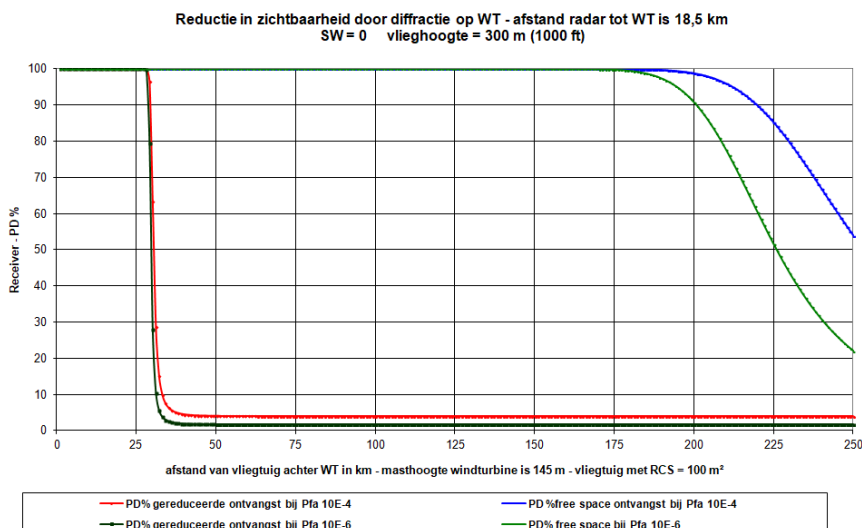
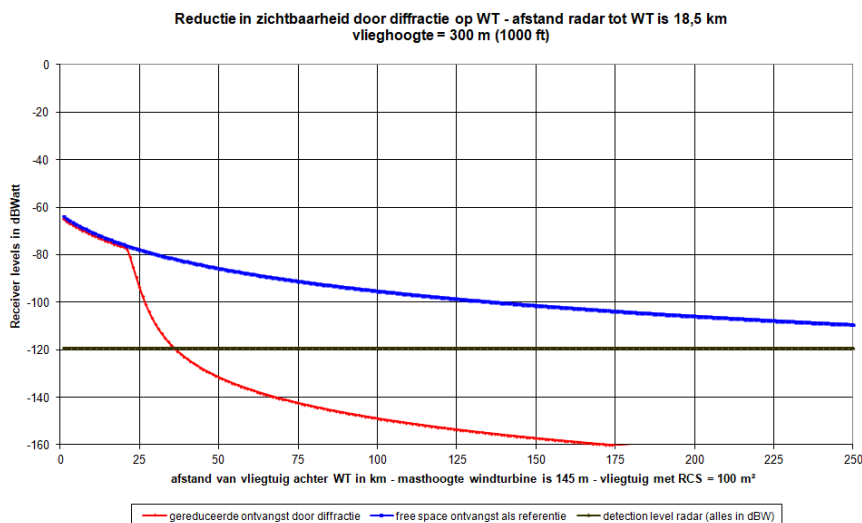
Dit houdt ook in dat de kans op een maskering van een vliegtuig met een RCS kleiner dan de RCS van een windturbine wordt geminimaliseerd.

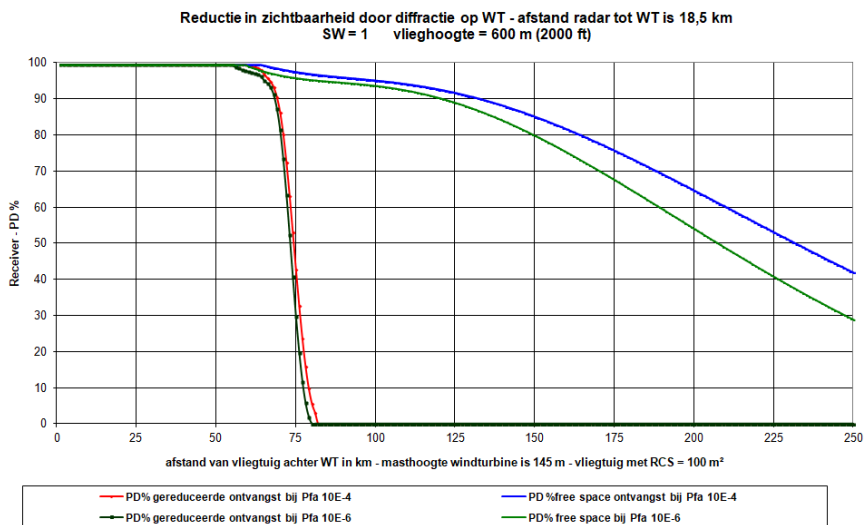
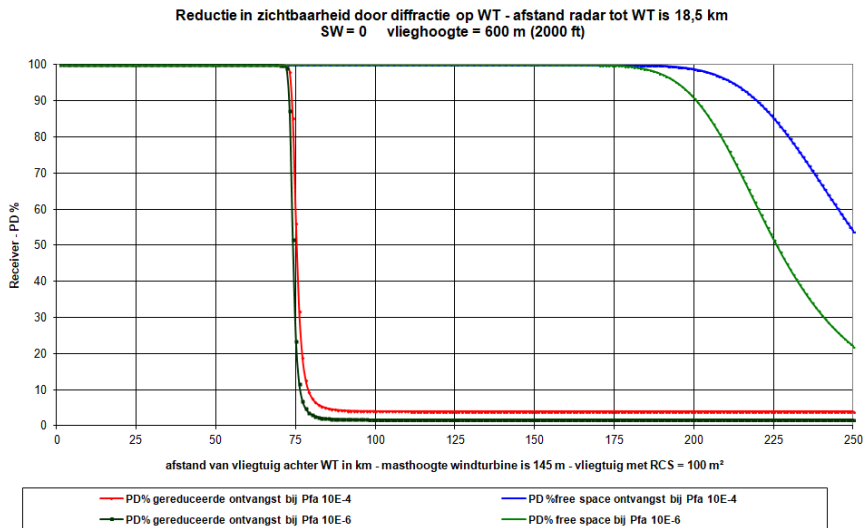
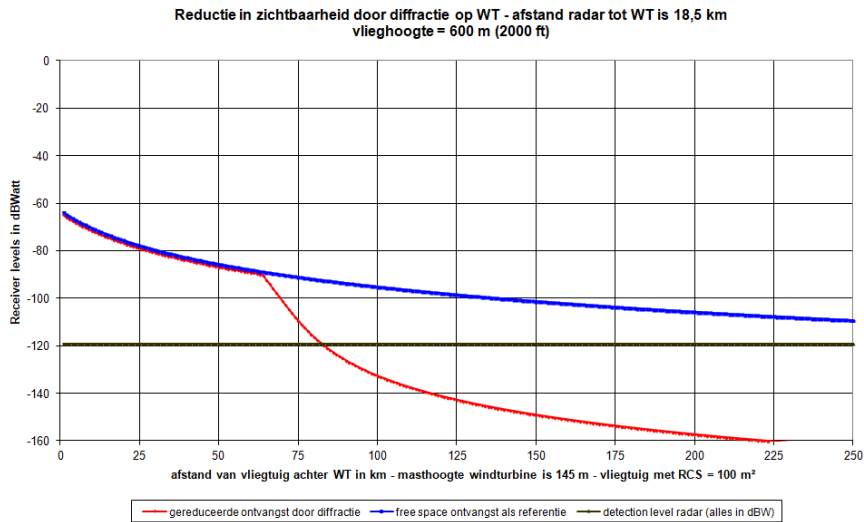
Naast de mogelijke kortstondige maskeringen van zeer kleine vliegtuigen, is er nog de clutter die ontstaat door de steeds wisselende reflecties van de bewegende onderdelen van de windturbines. Uiteraard wordt hieraan niets gewijzigd door een verandering van het stralingspatroon van de radarantenne.

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

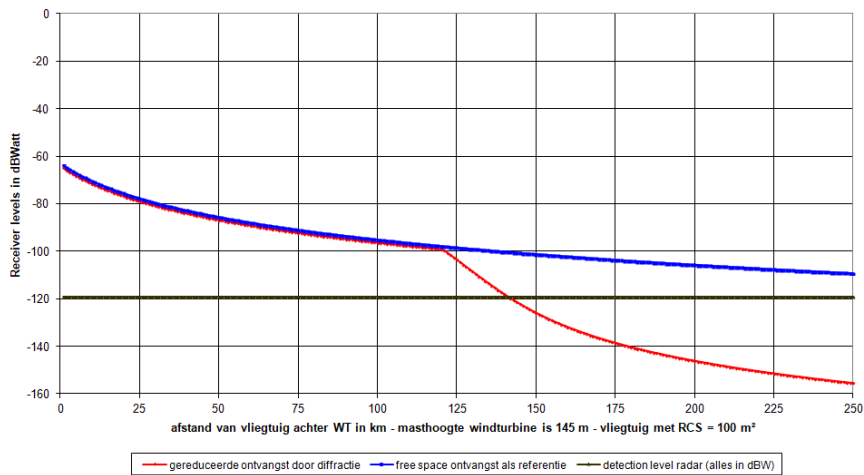
Annex 4.1. Verminderde zichtbaarheid PSR: RCS = 100 m², 10 m² en 1 m²

“Eerste keuze” masthoogte 145 m – RCS 100 m²

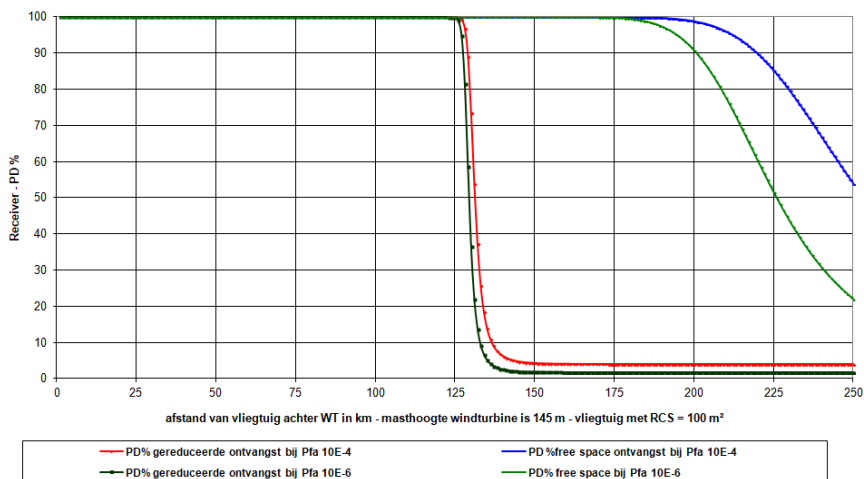




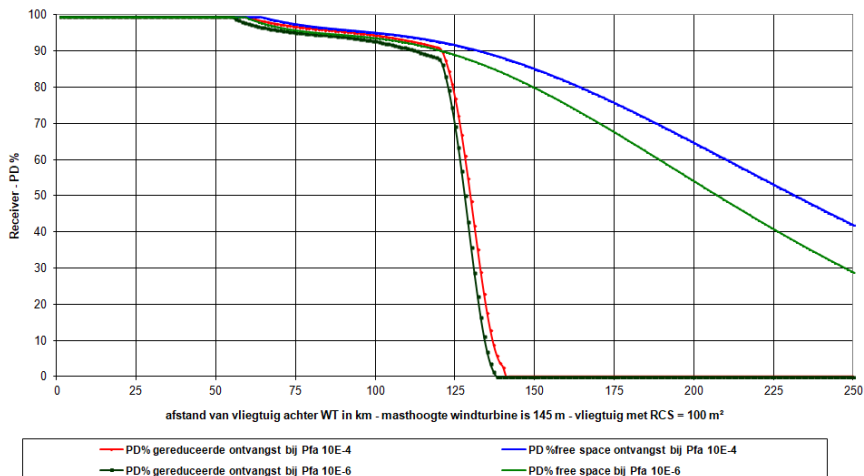
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

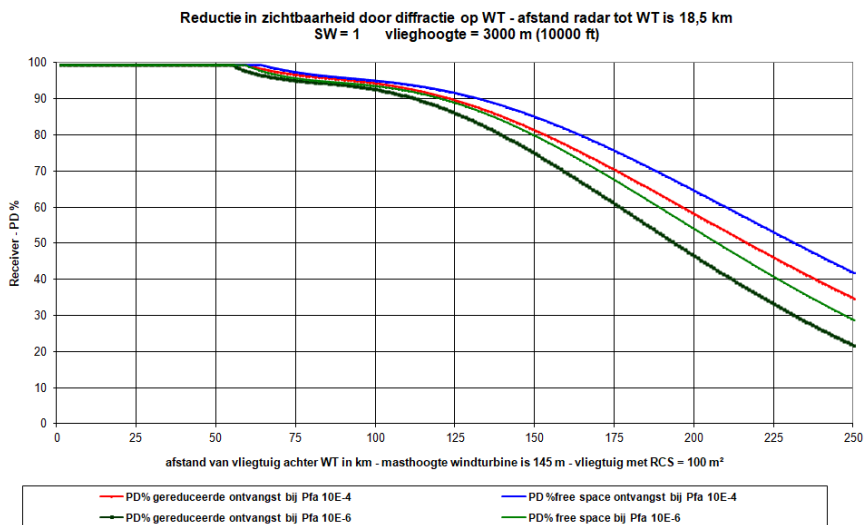
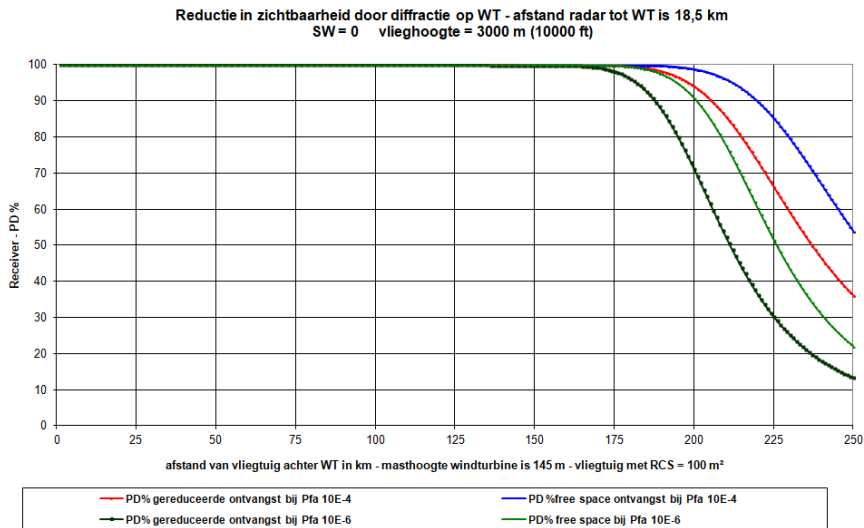
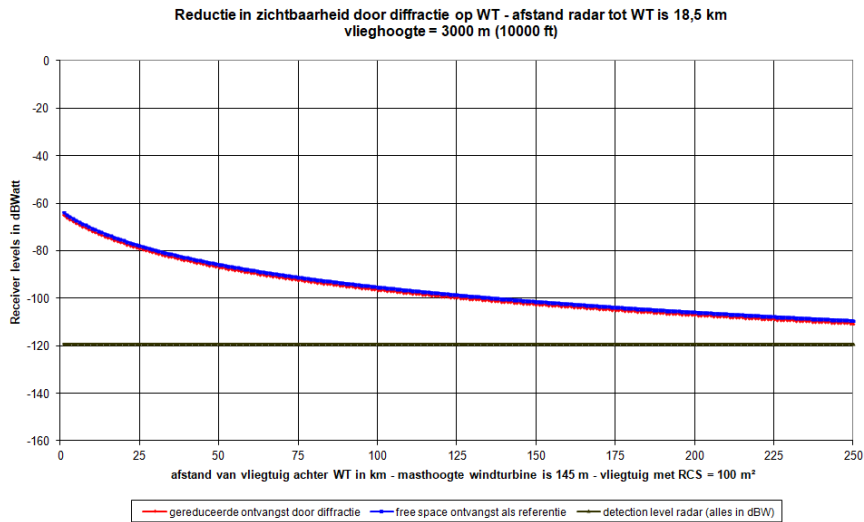


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

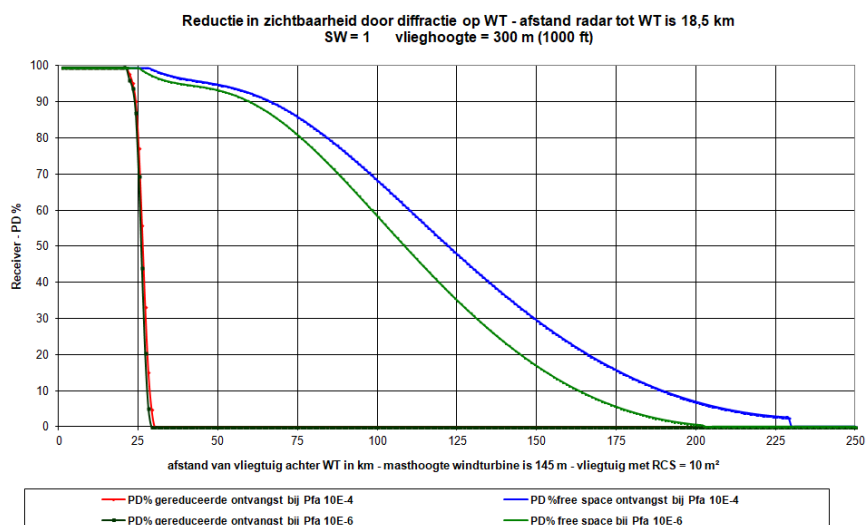
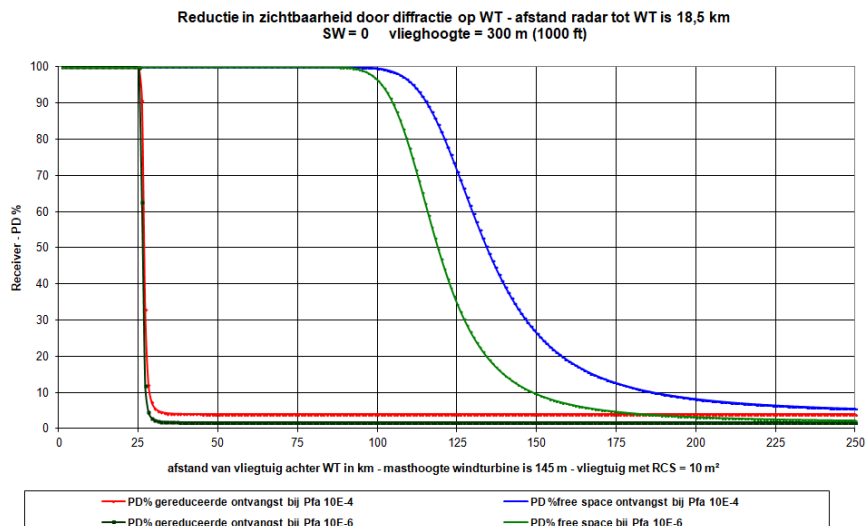
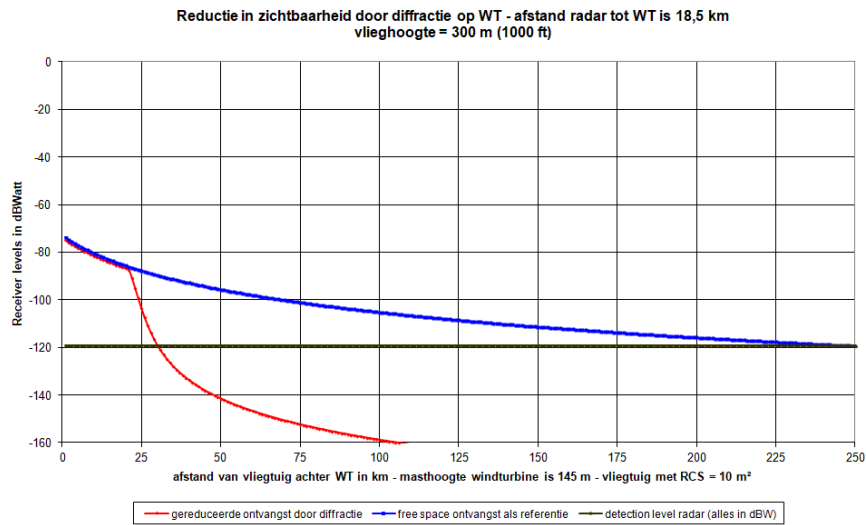


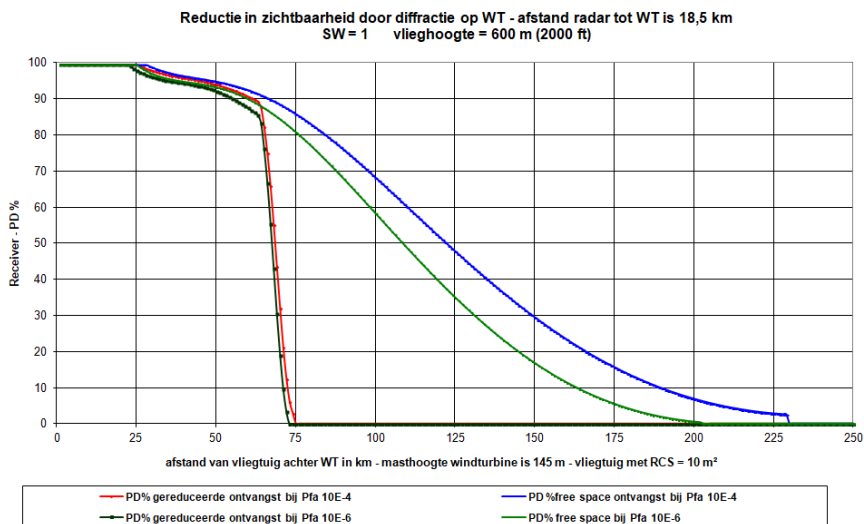
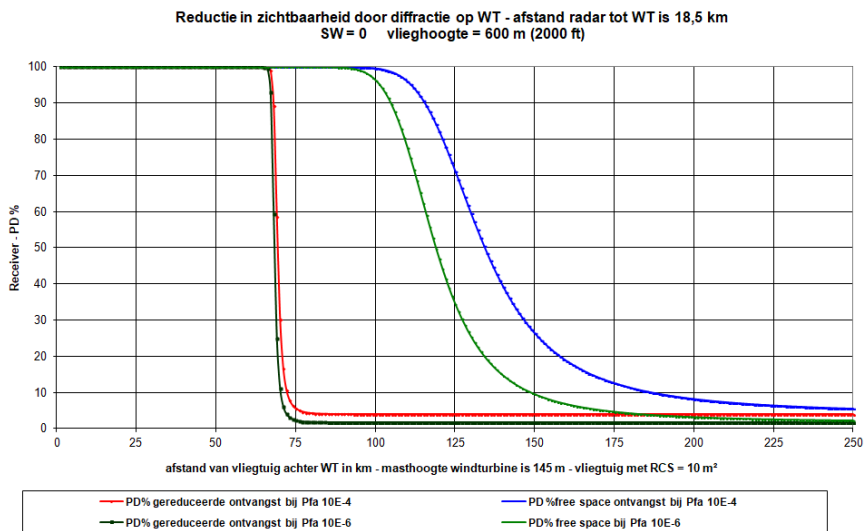
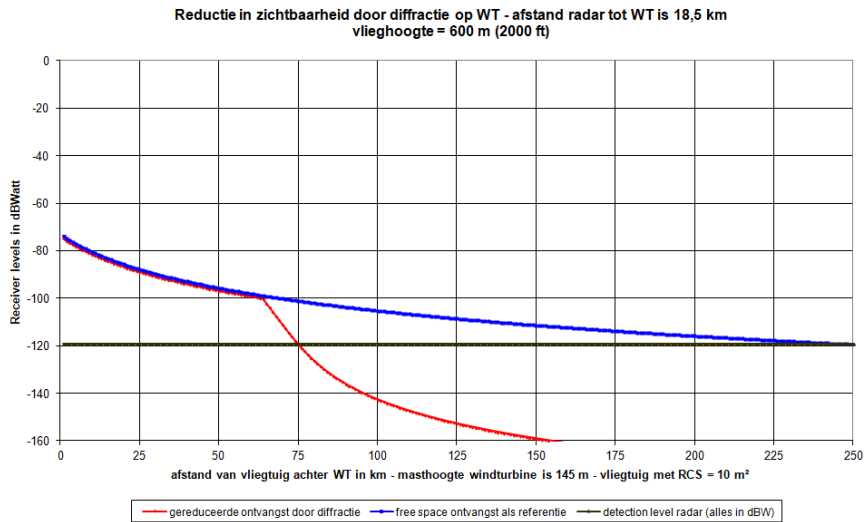
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

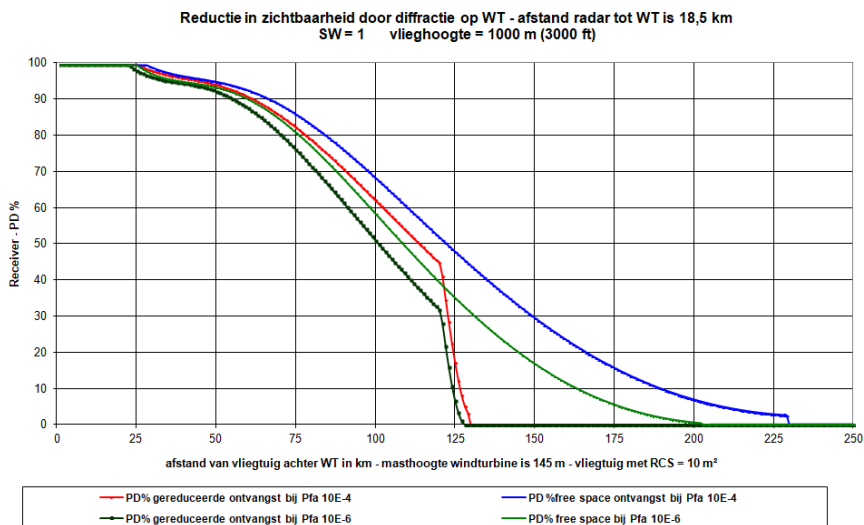
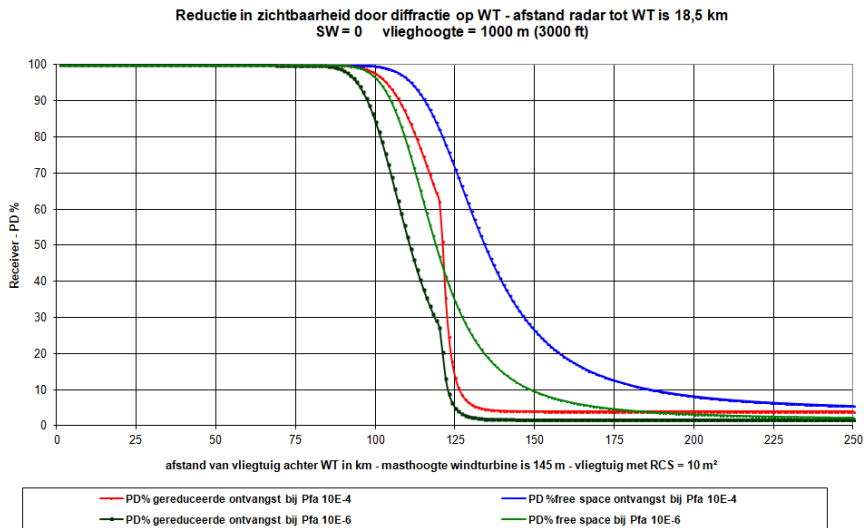
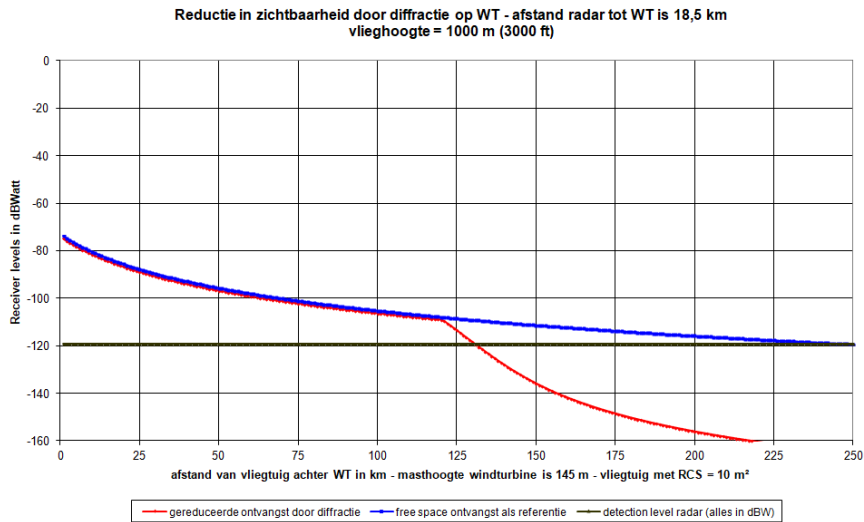


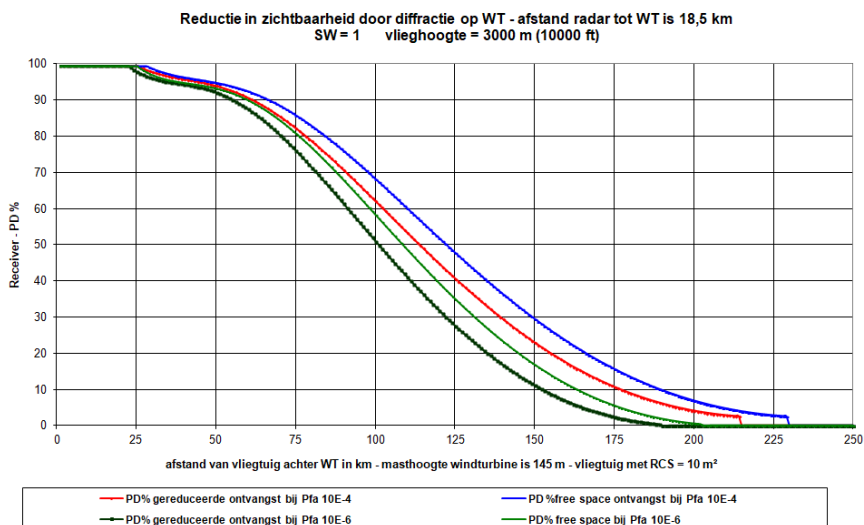
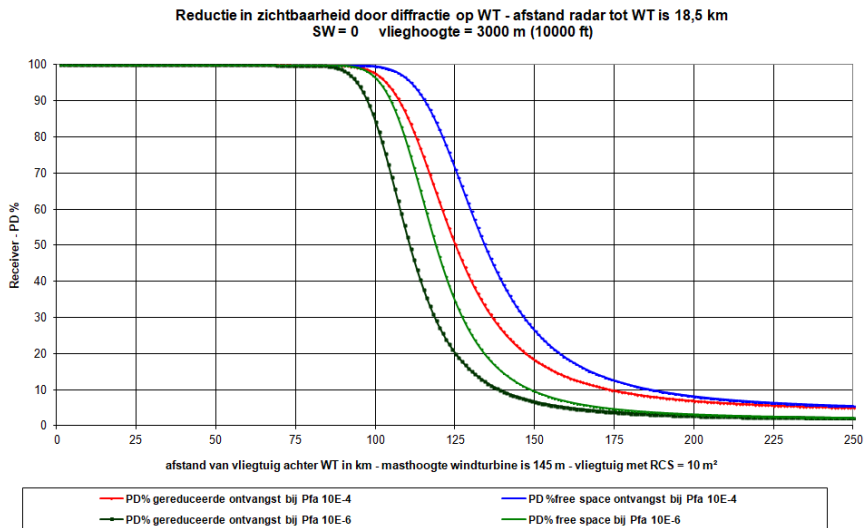
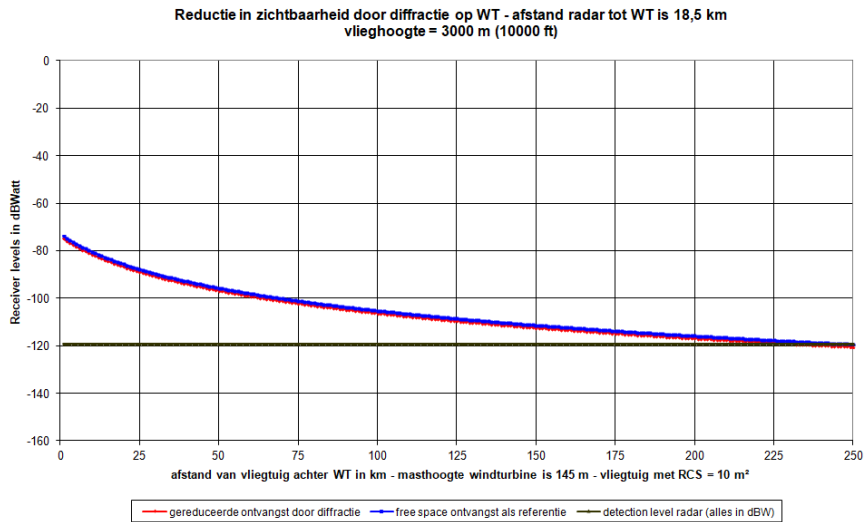


“Eerste keuze” masthoogte 145 m – RCS 10 m²

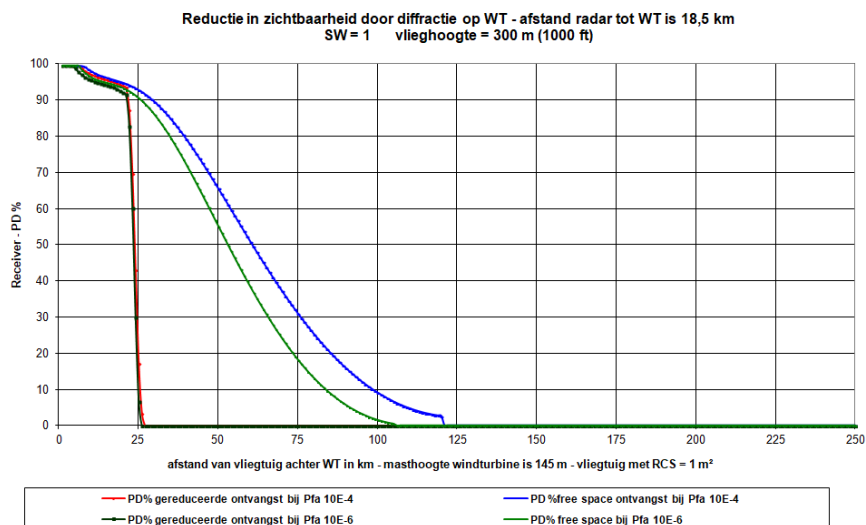
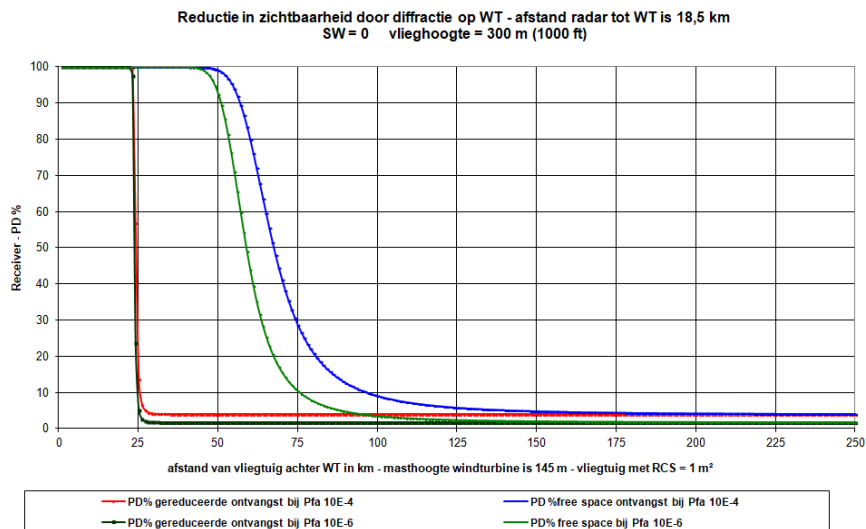
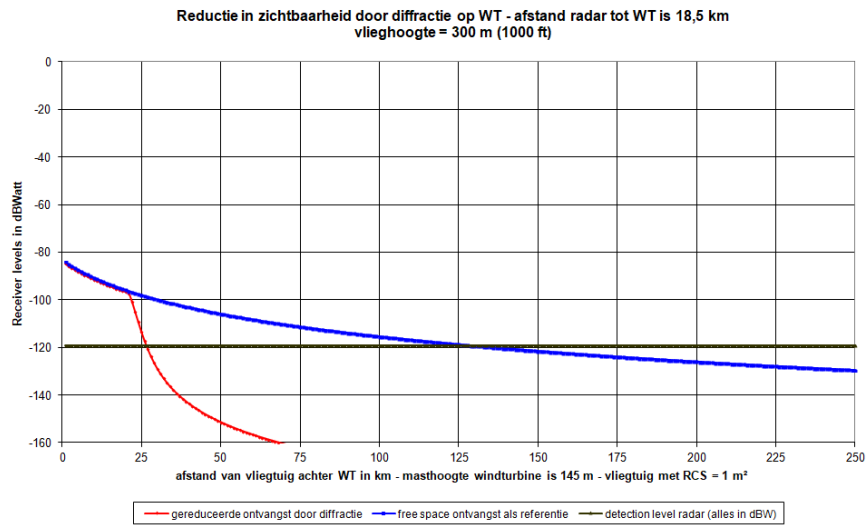


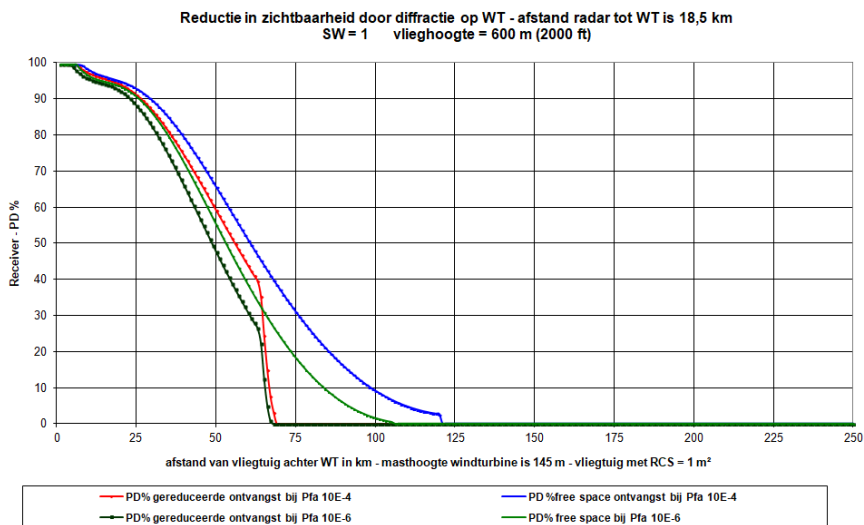
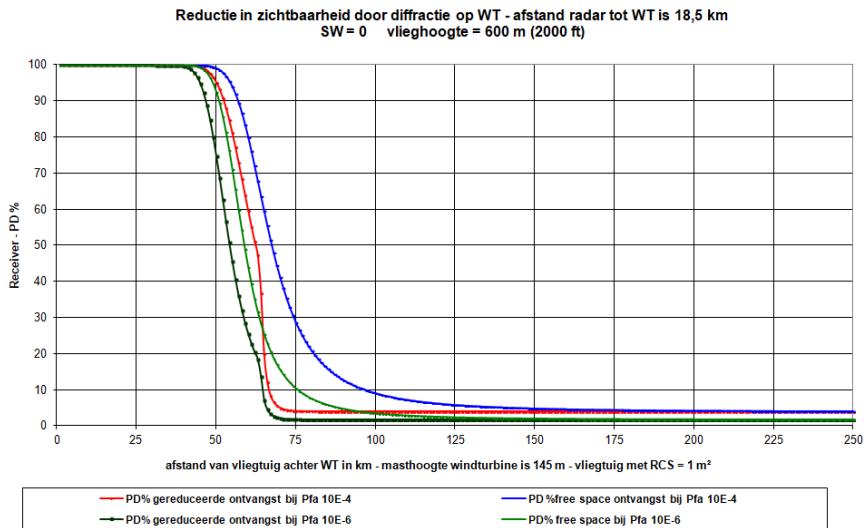
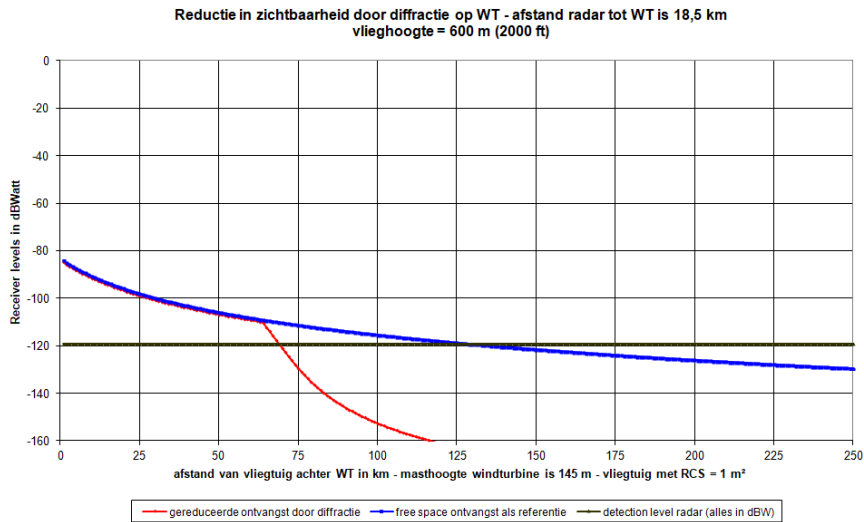


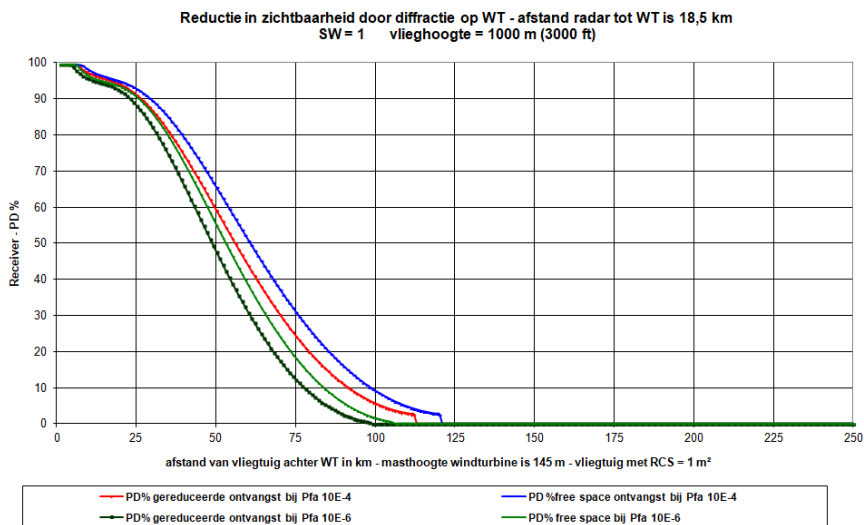
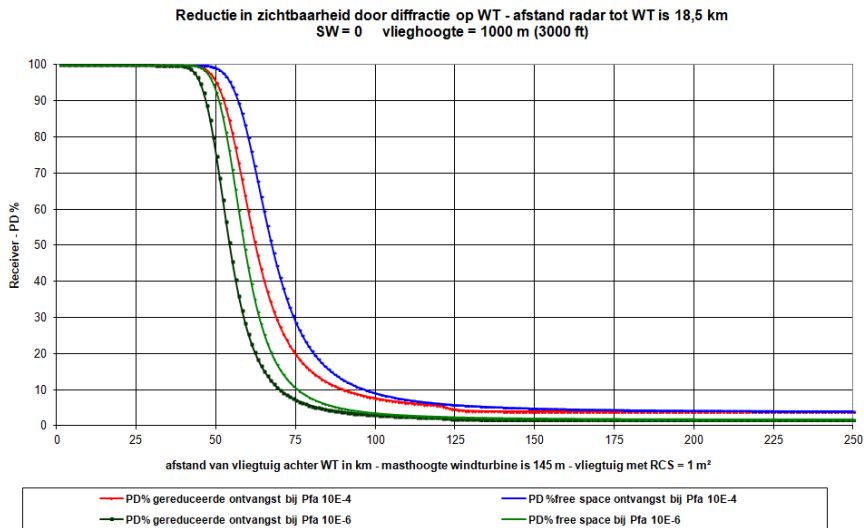
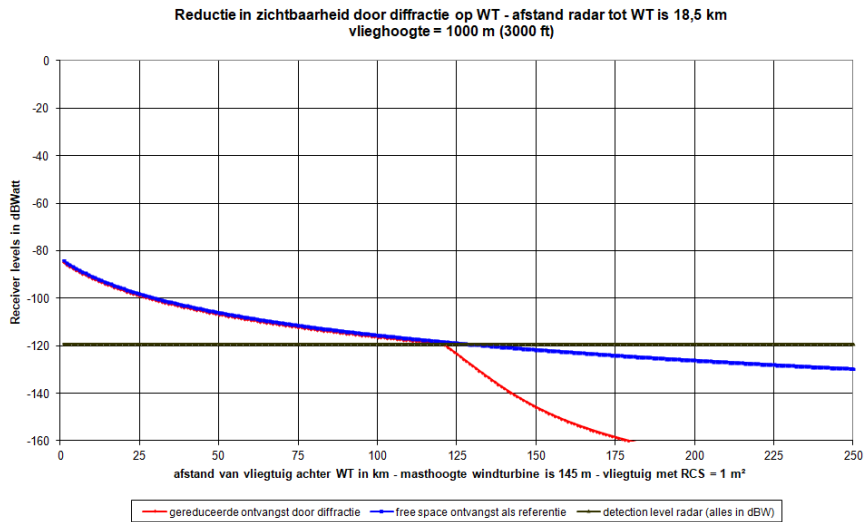


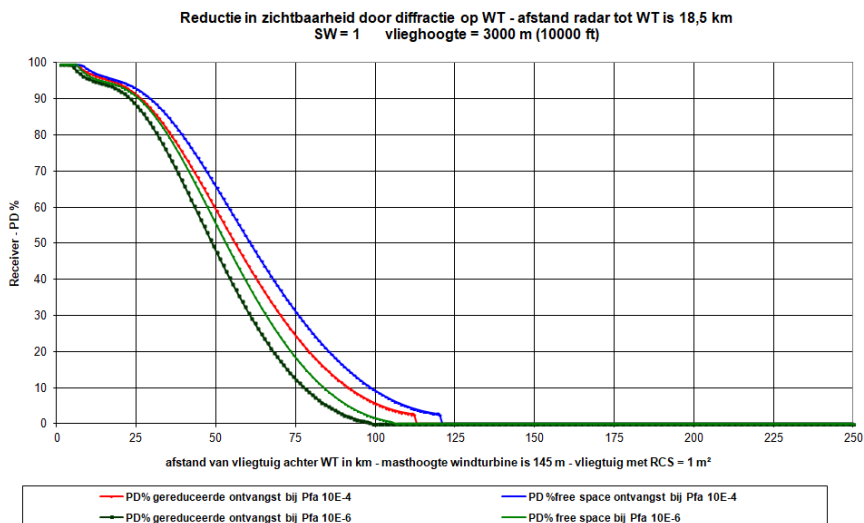
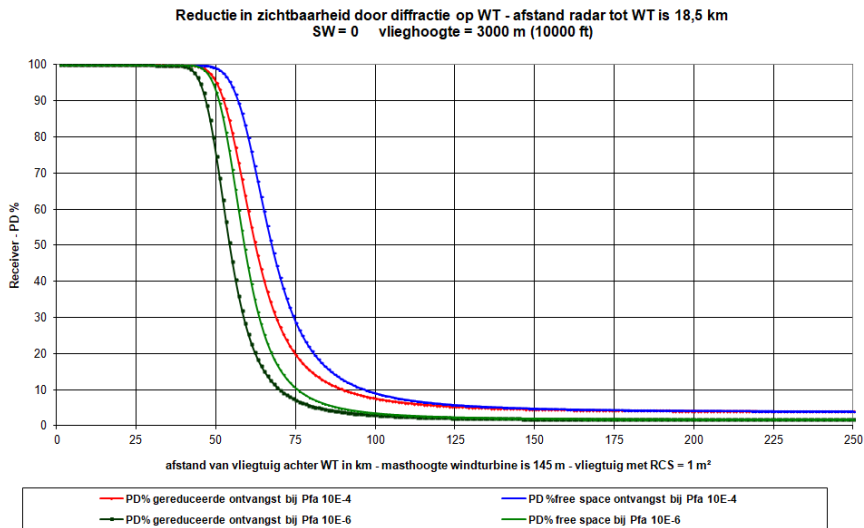
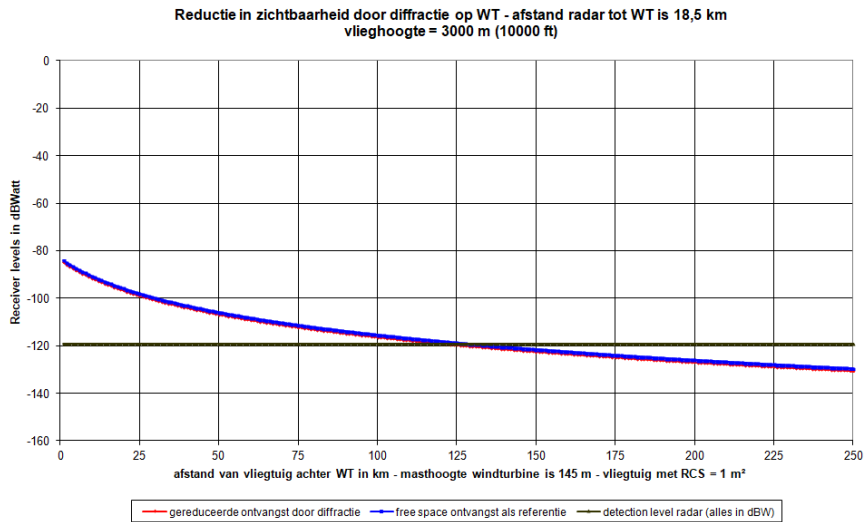


“Eerste keuze” masthoogte 145 m – RCS 1 m²

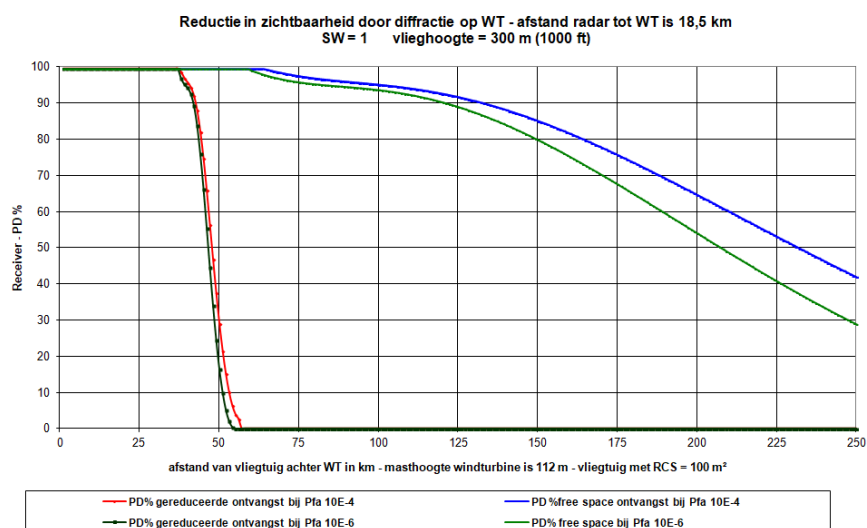
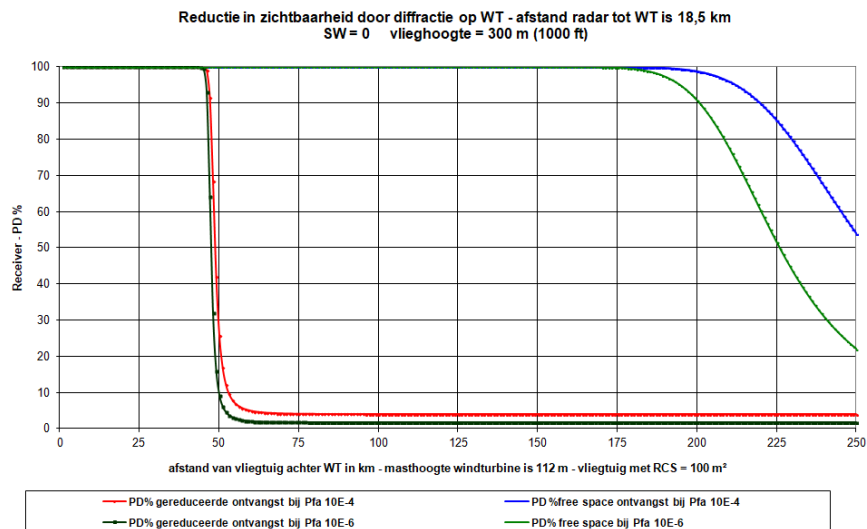
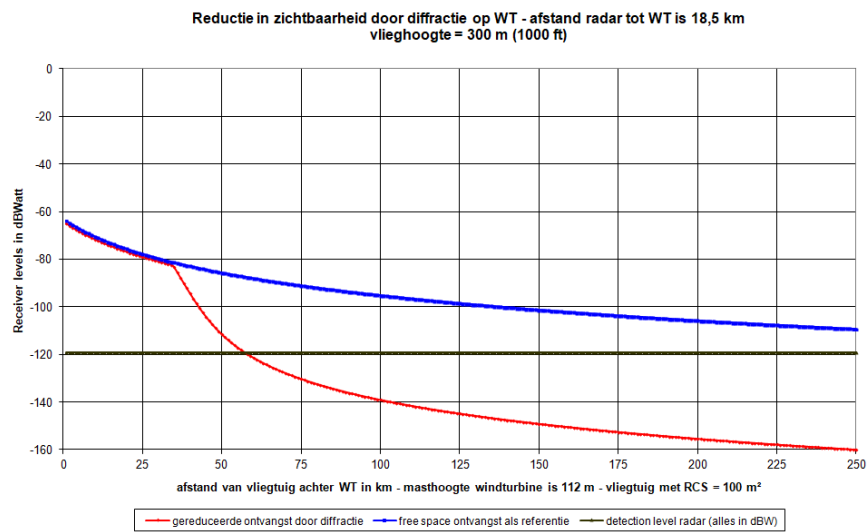


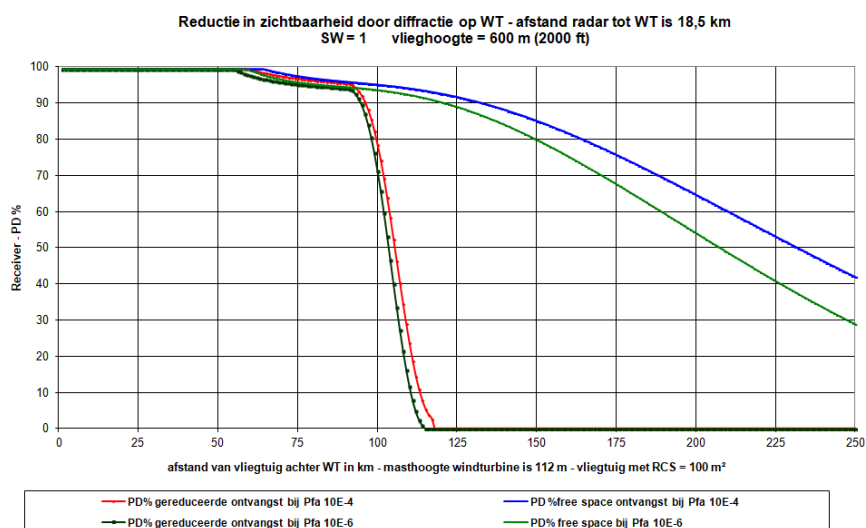
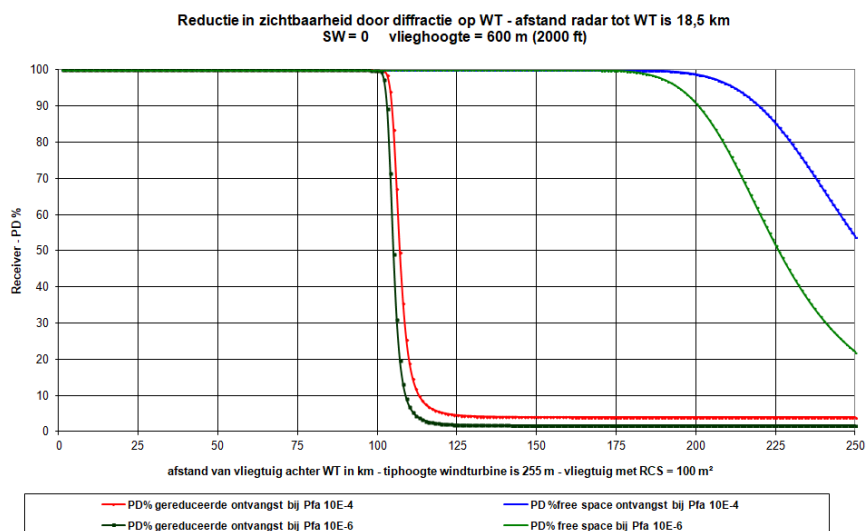
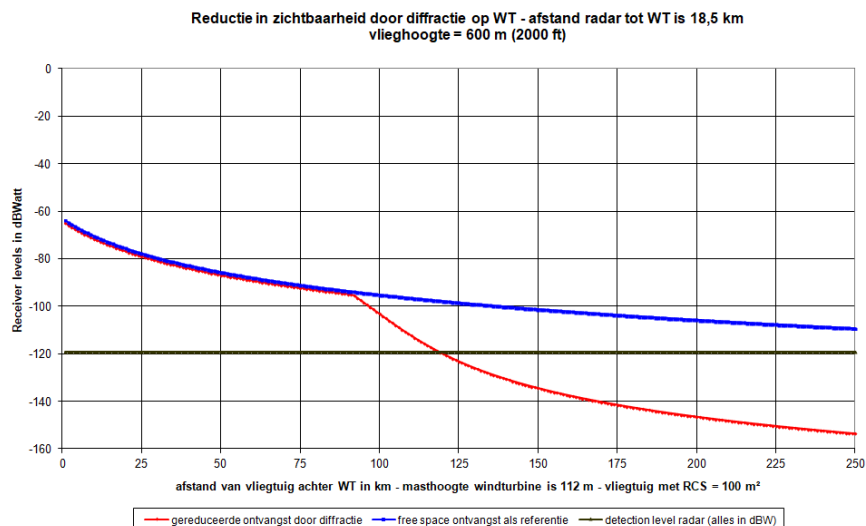


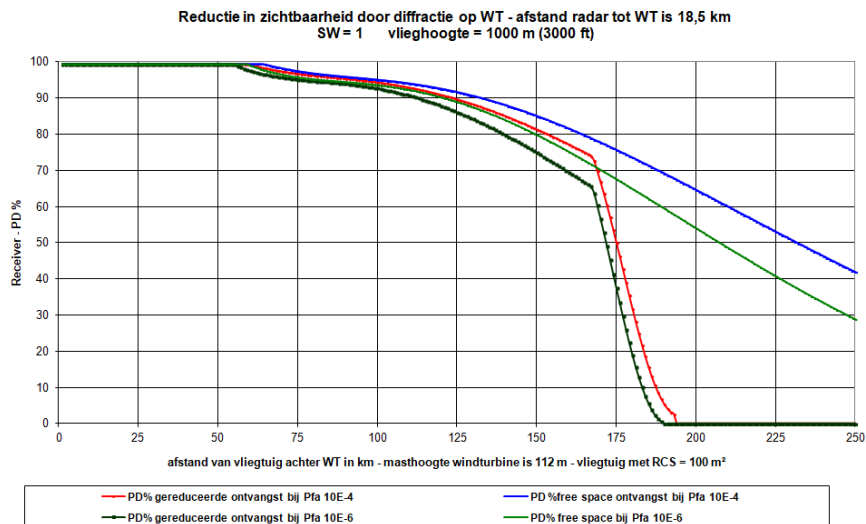
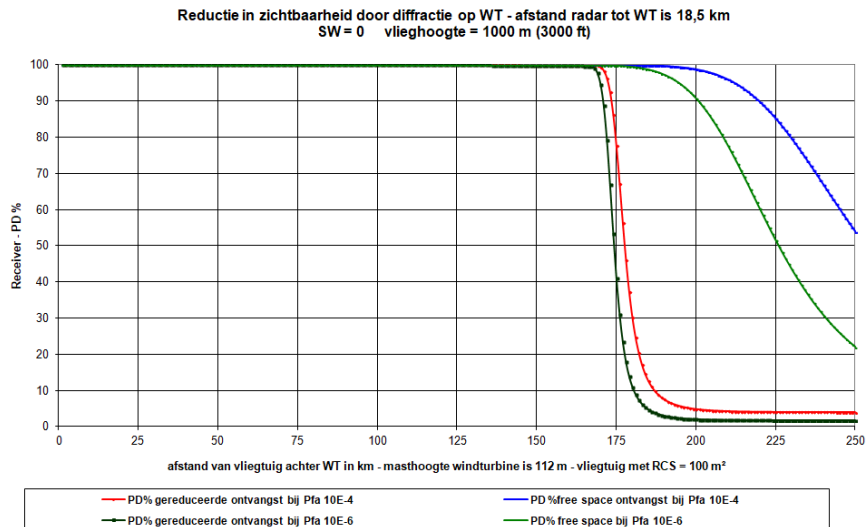
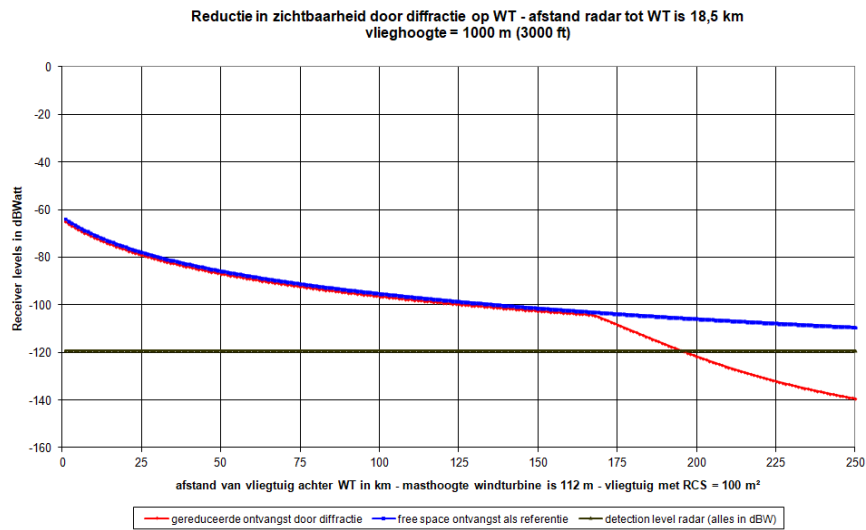


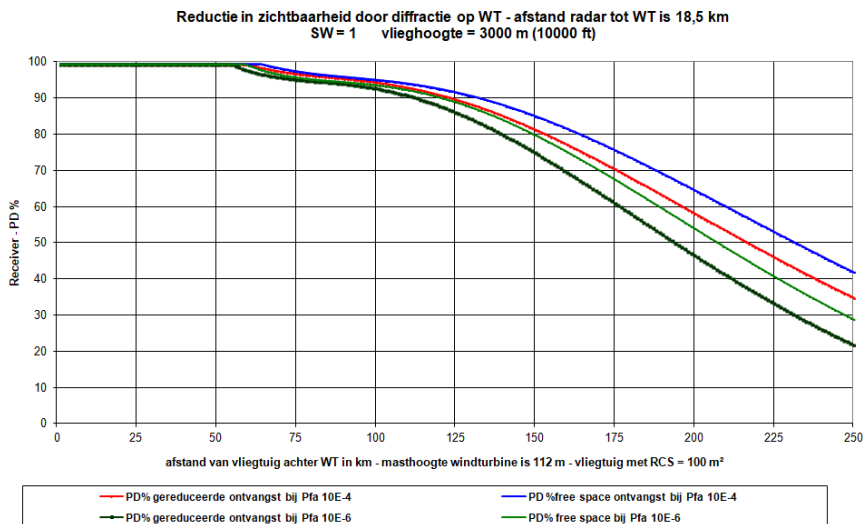
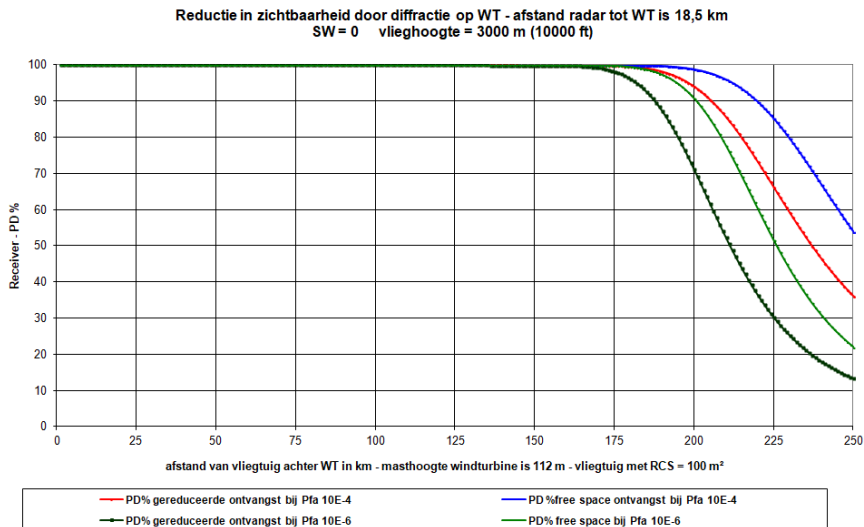
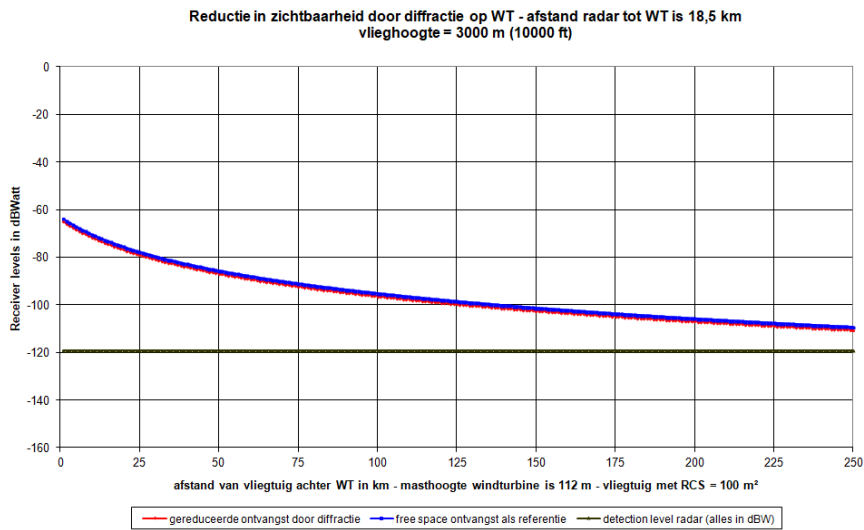


“Tweede optie” masthoogte 112 m – RCS 100 m²

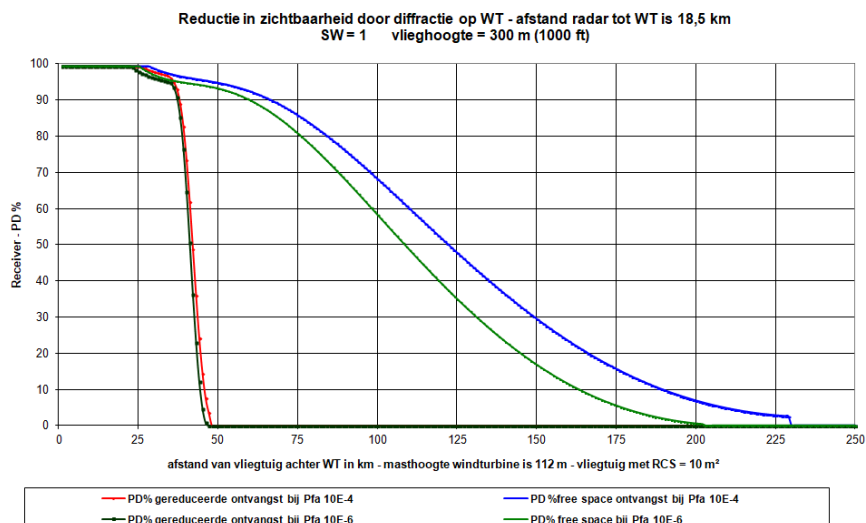
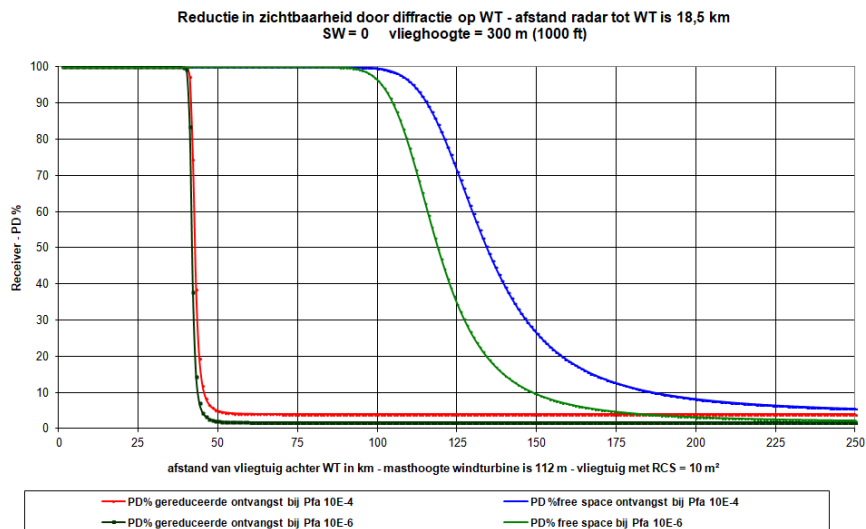
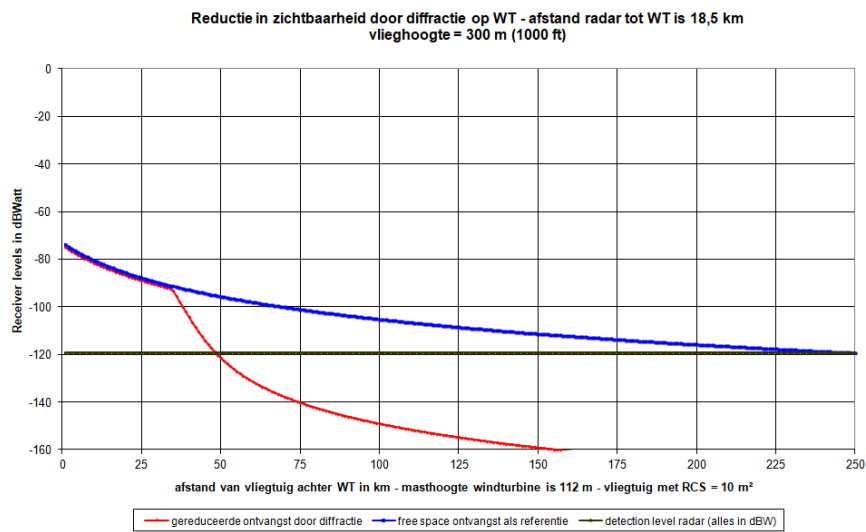




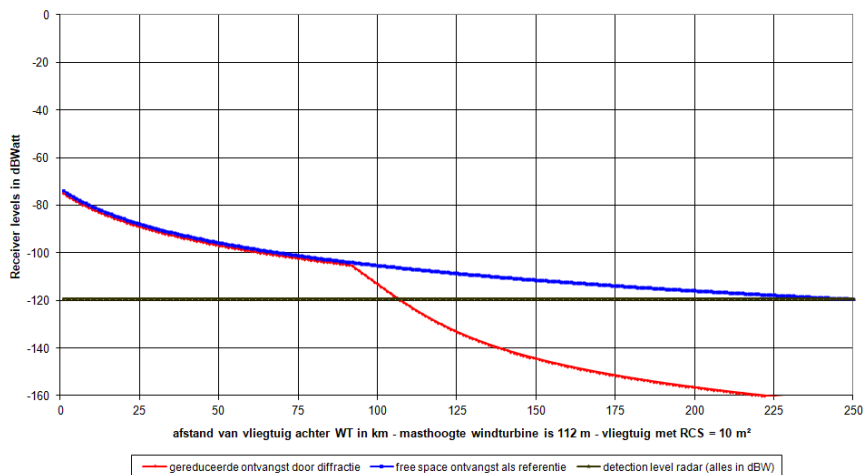




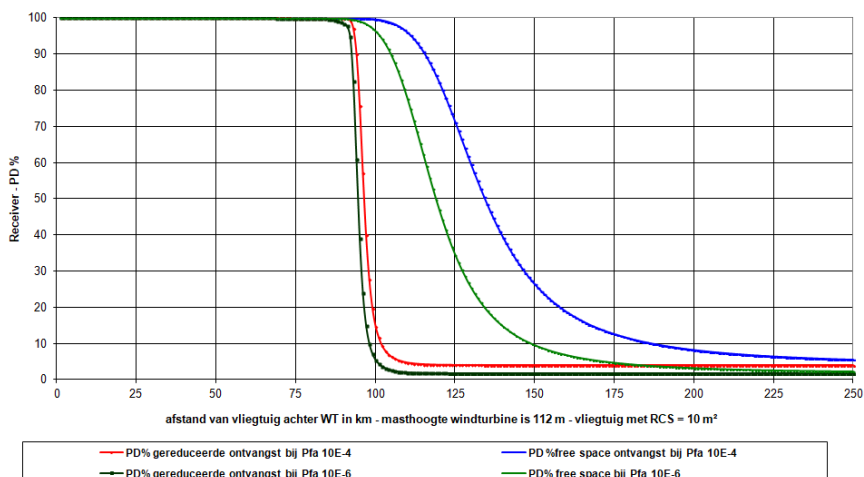
“Tweede optie” masthoogte 112 m – RCS 10 m²



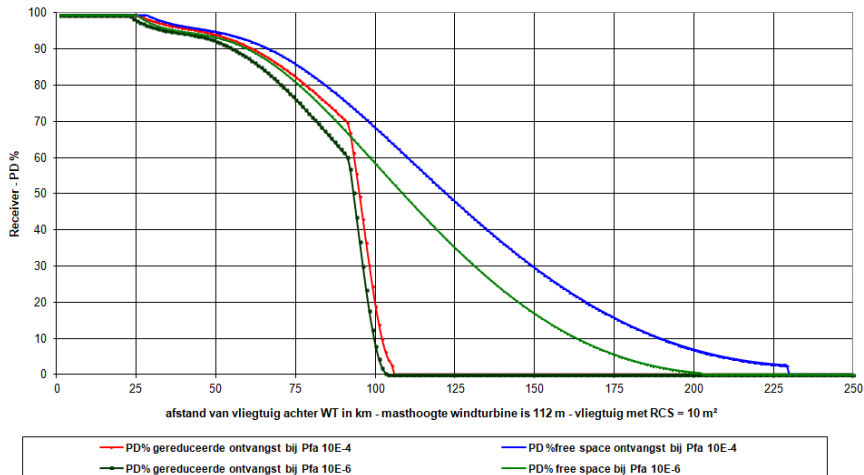
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

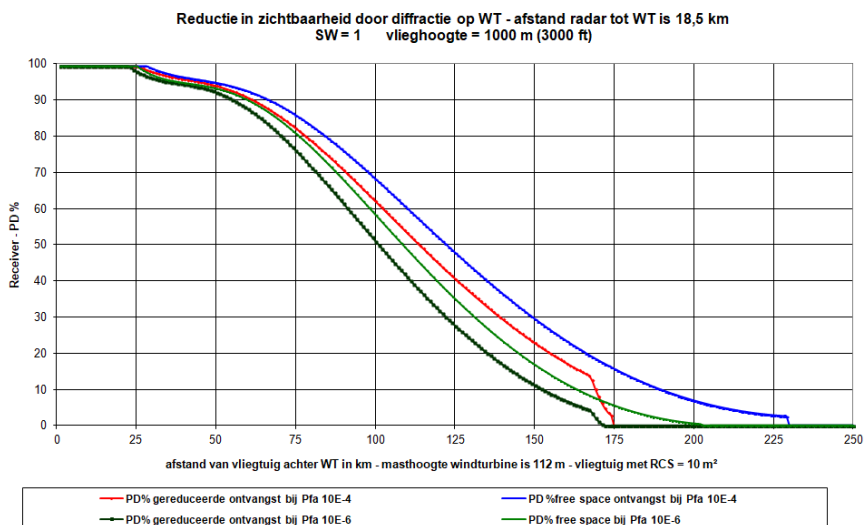
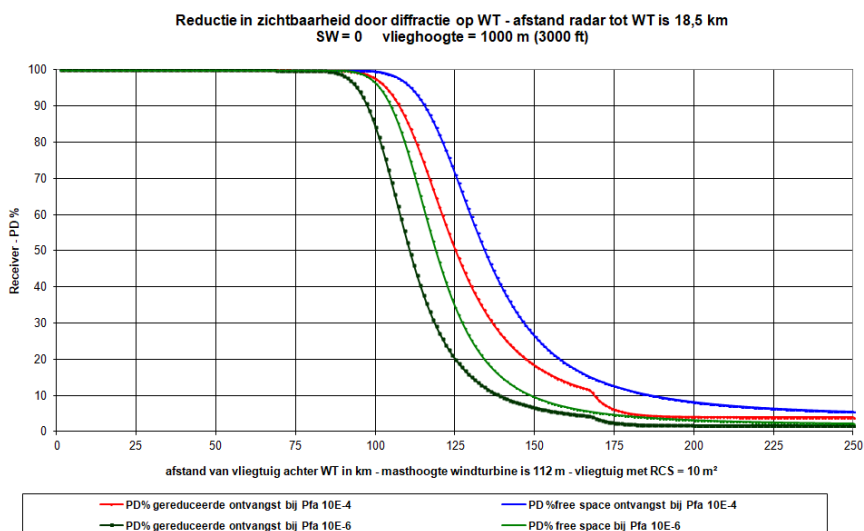
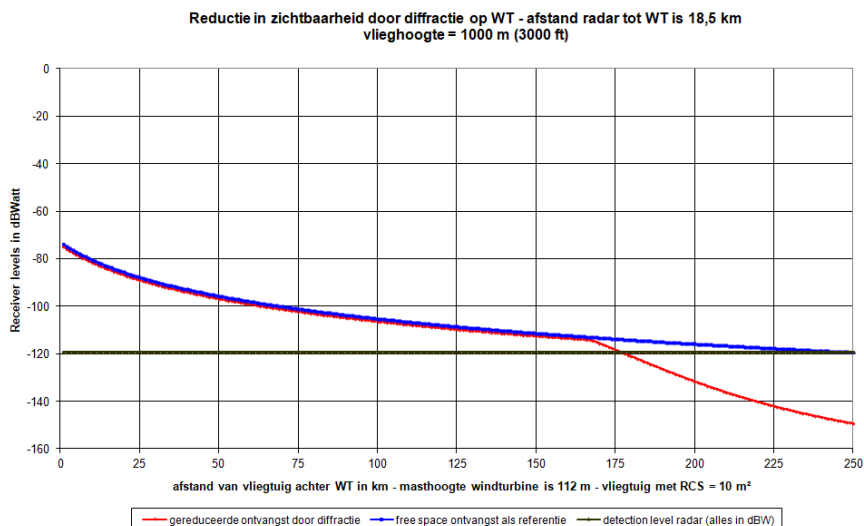


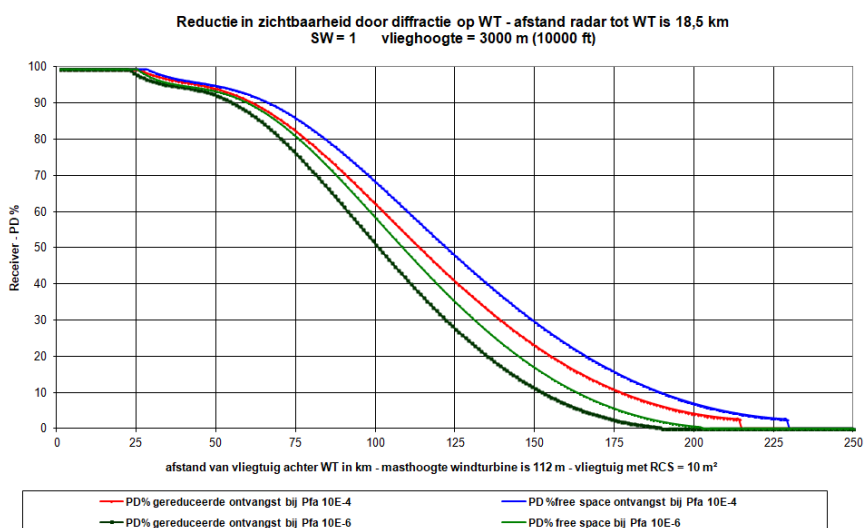
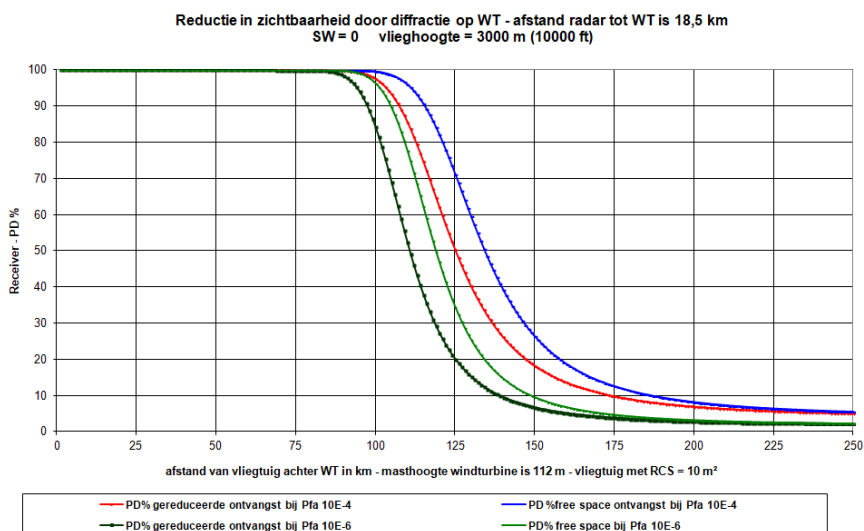
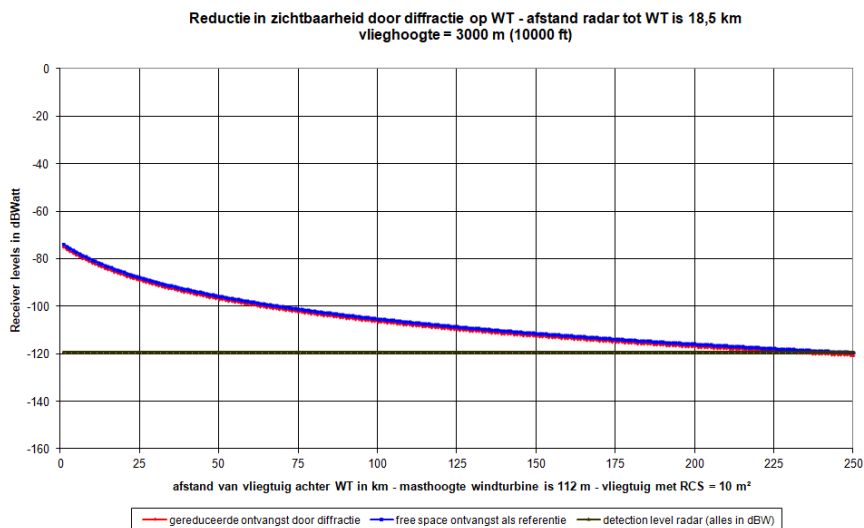
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



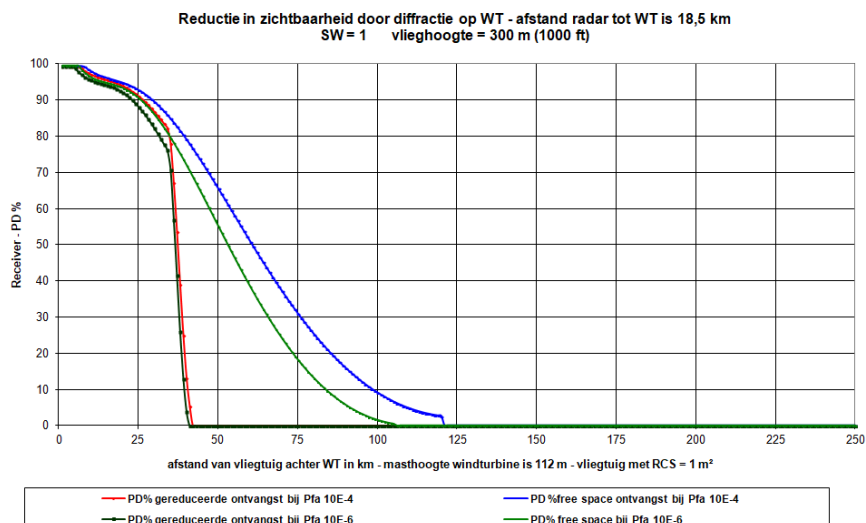
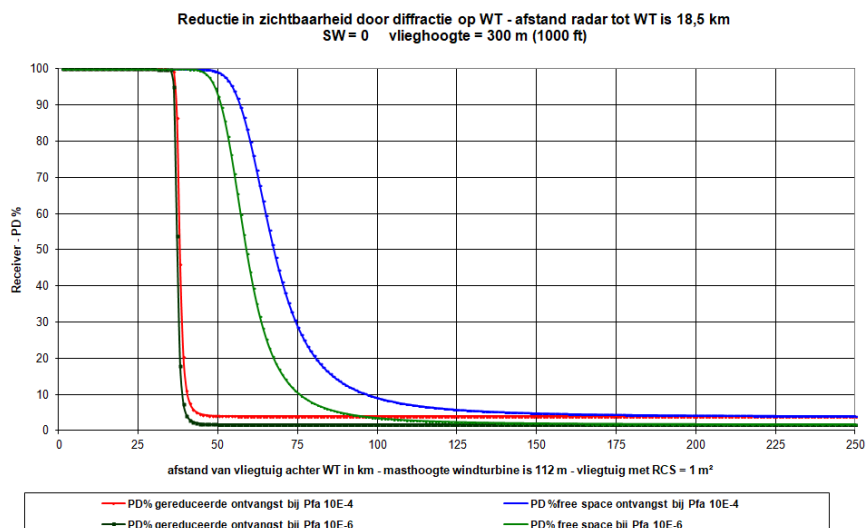
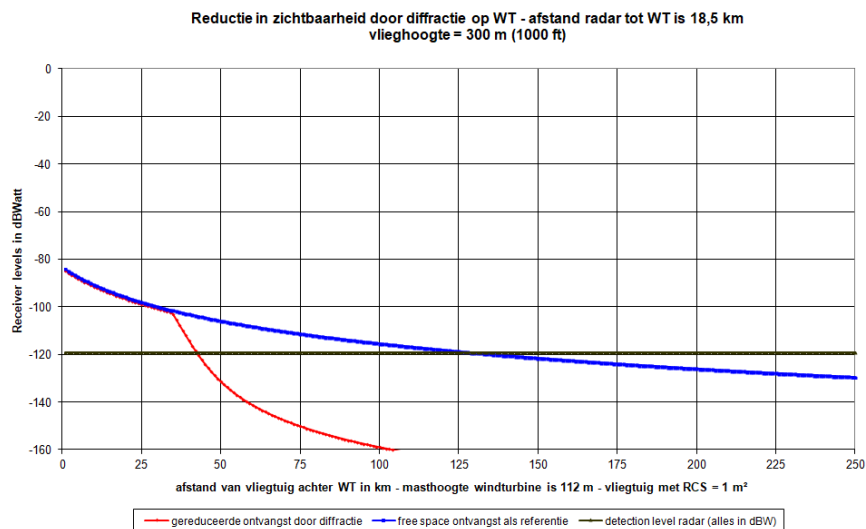
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



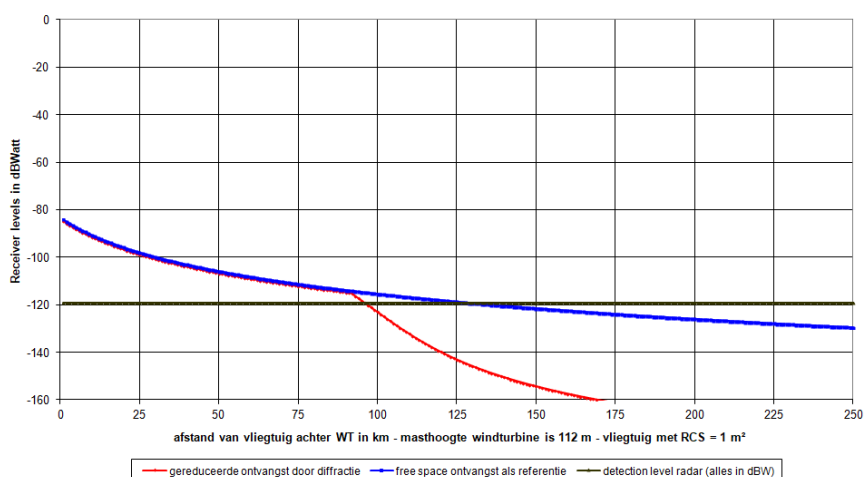




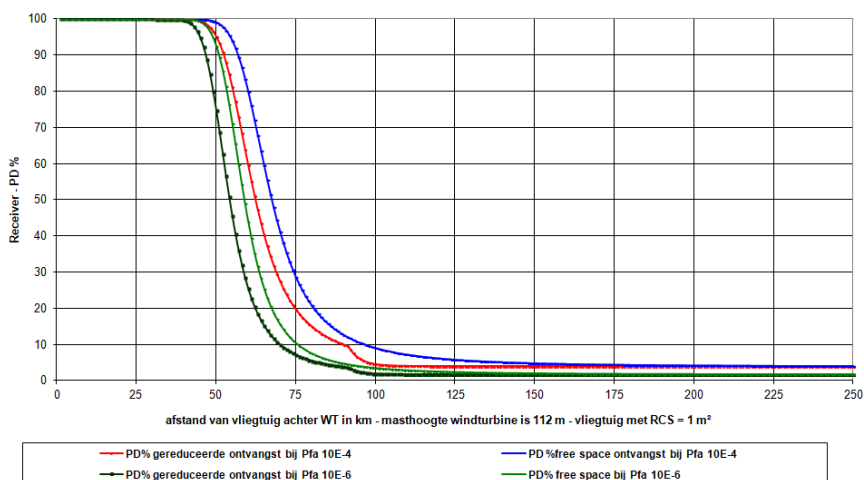
“Tweede optie” masthoogte 112 m – RCS 1 m²



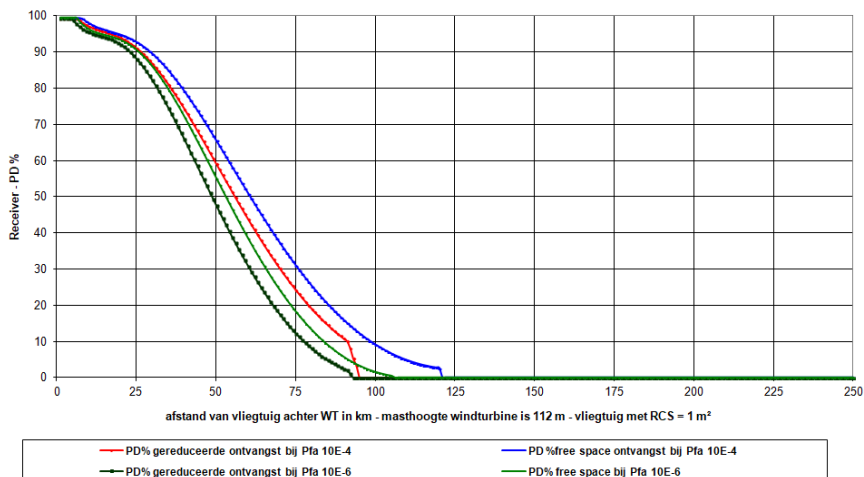
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

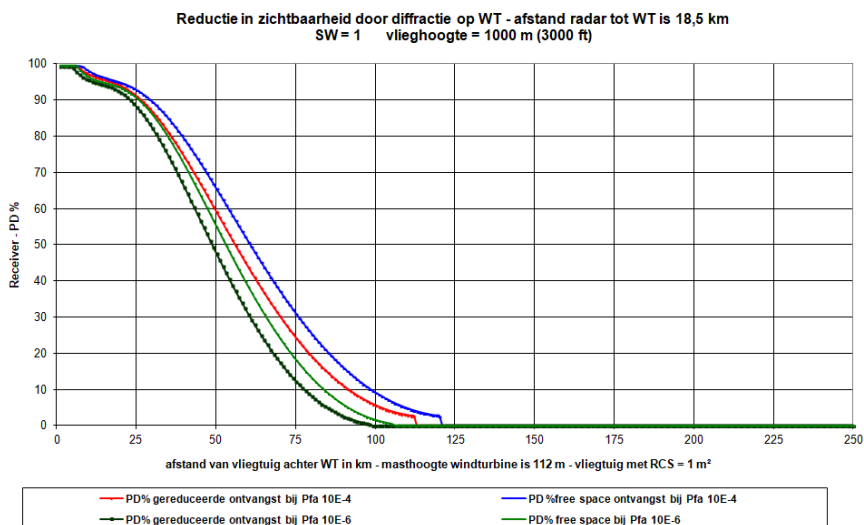
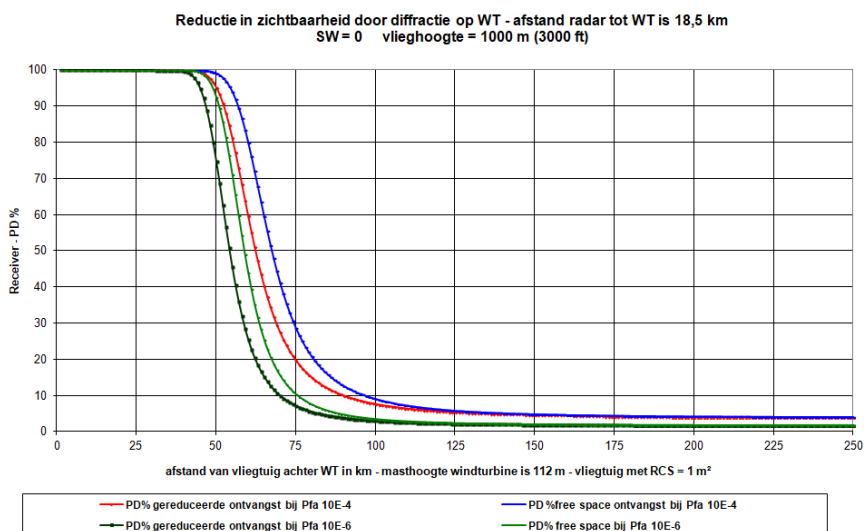
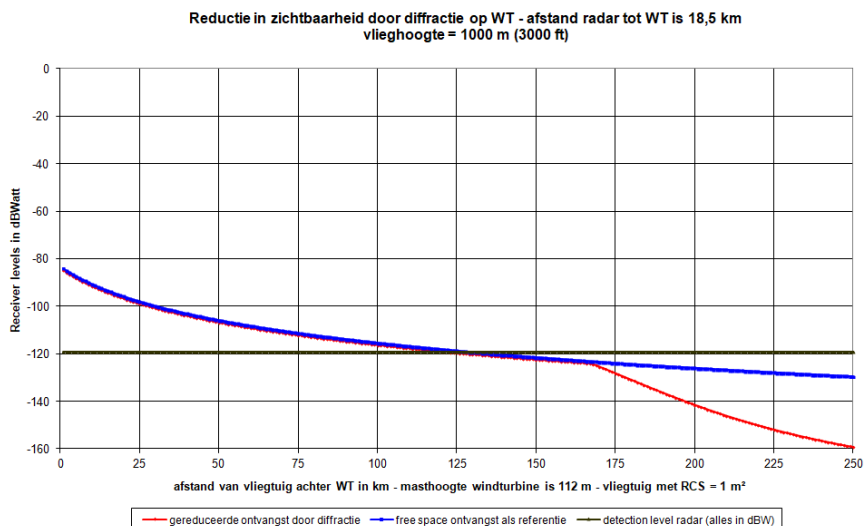


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

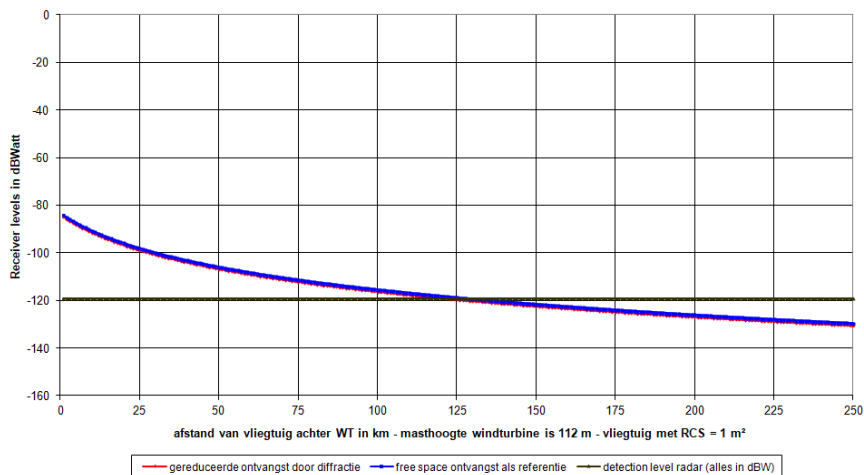


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)

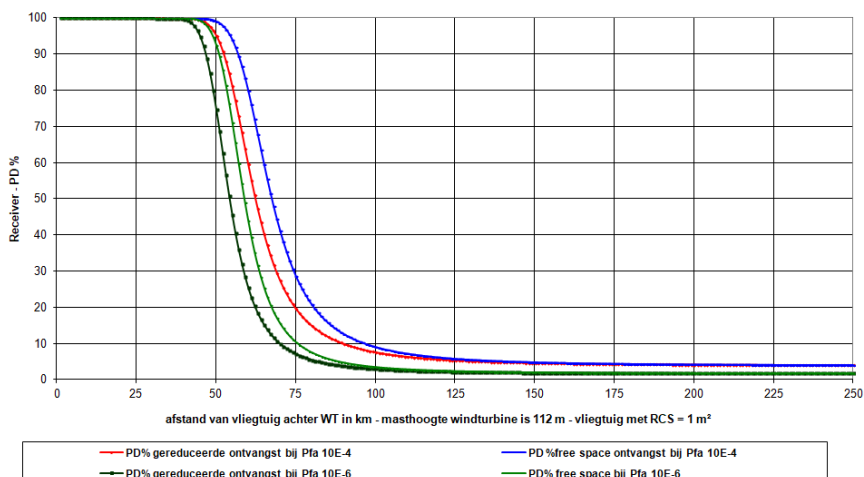




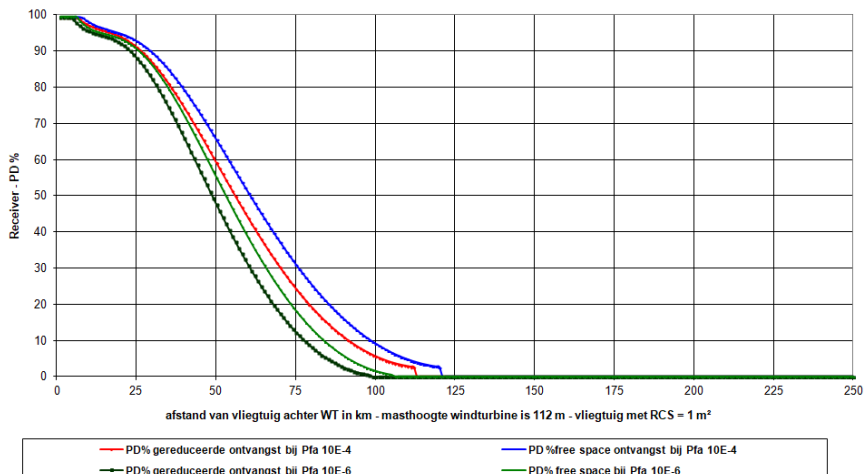
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



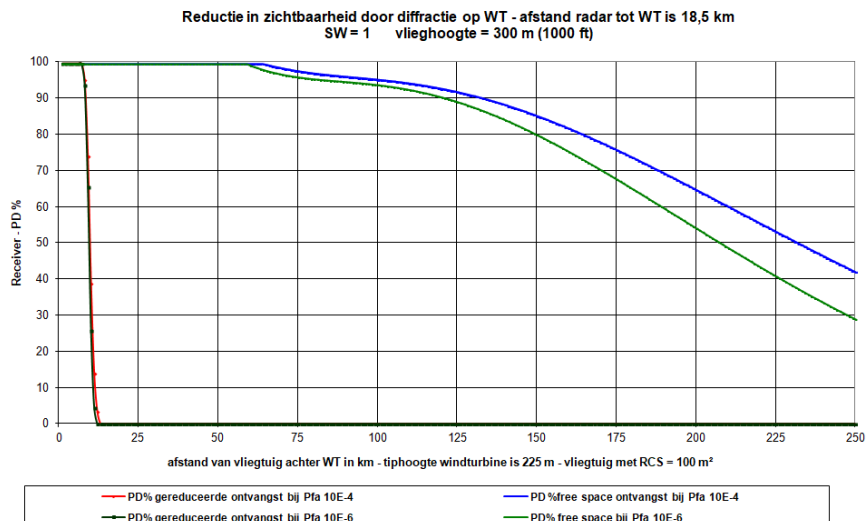
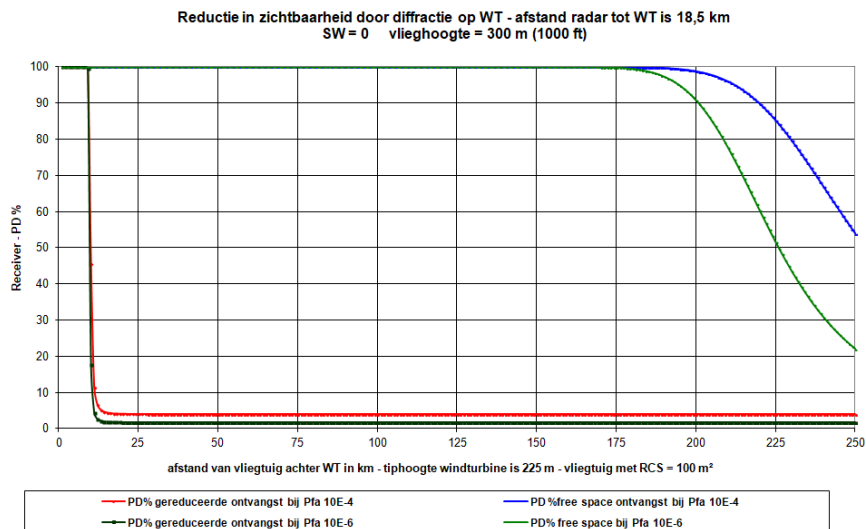
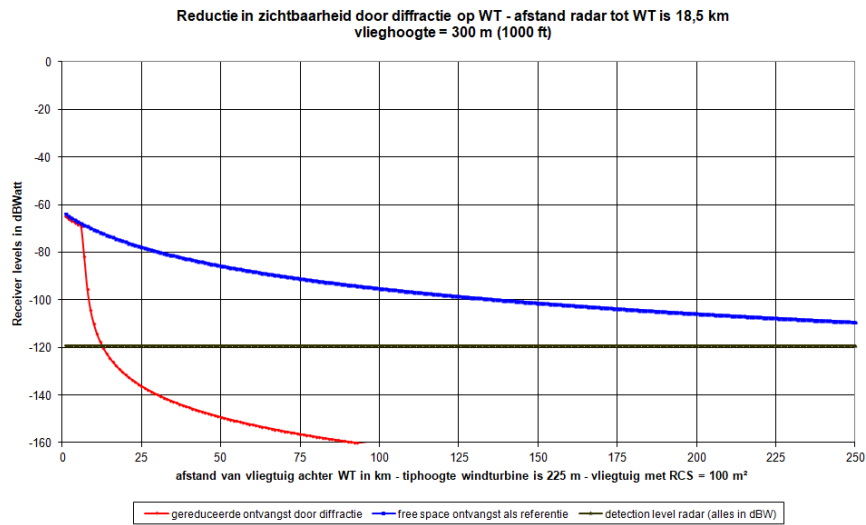
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

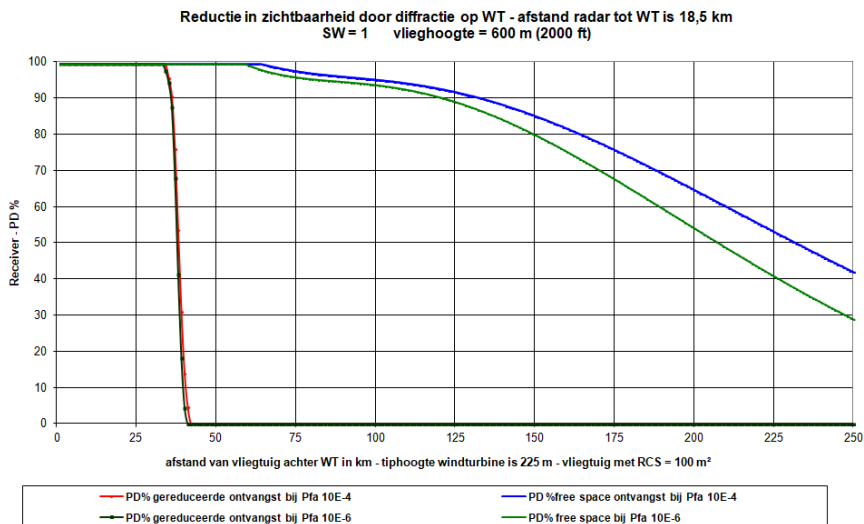
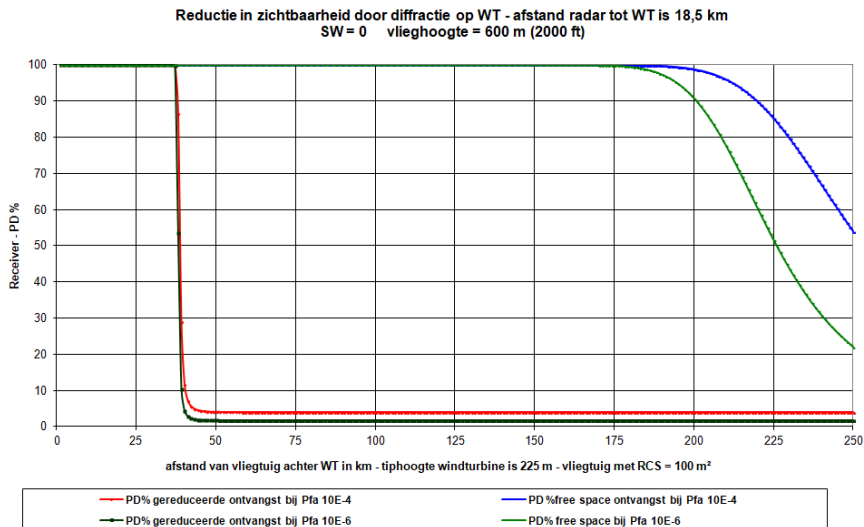
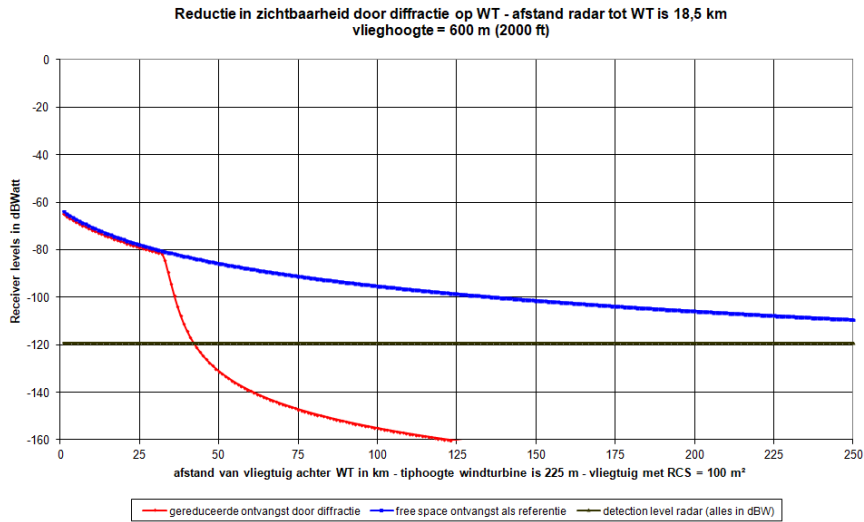


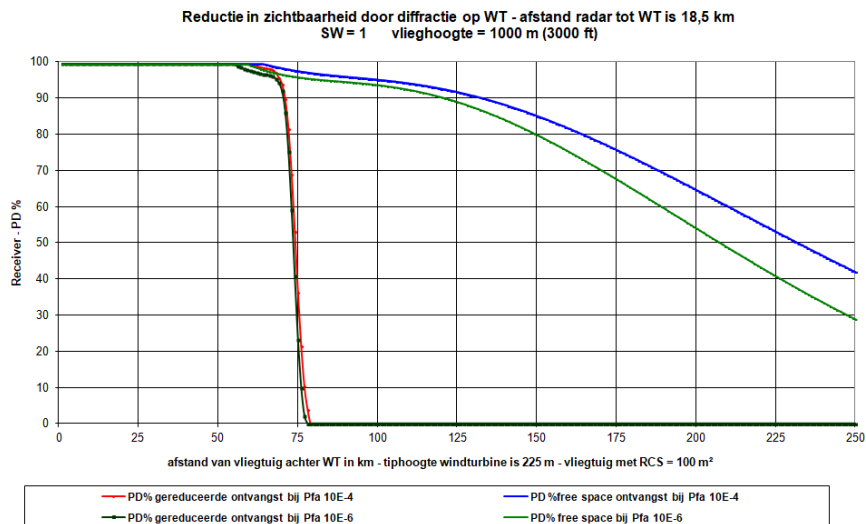
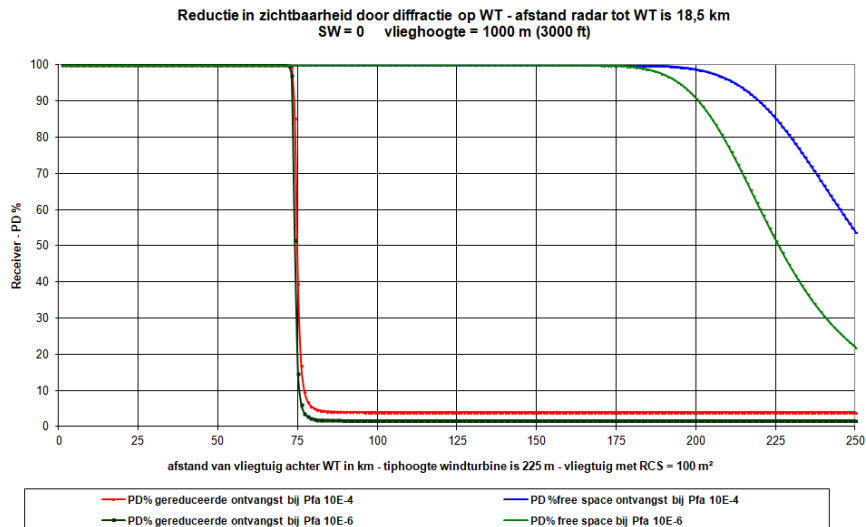
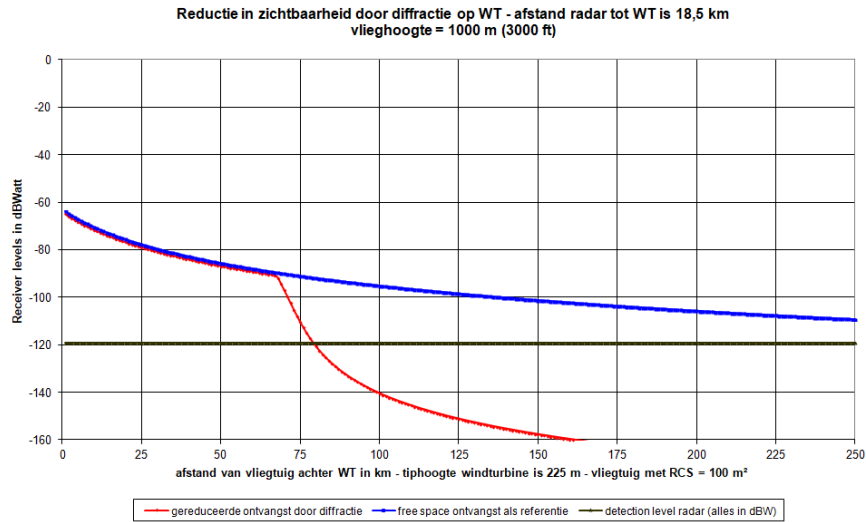
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

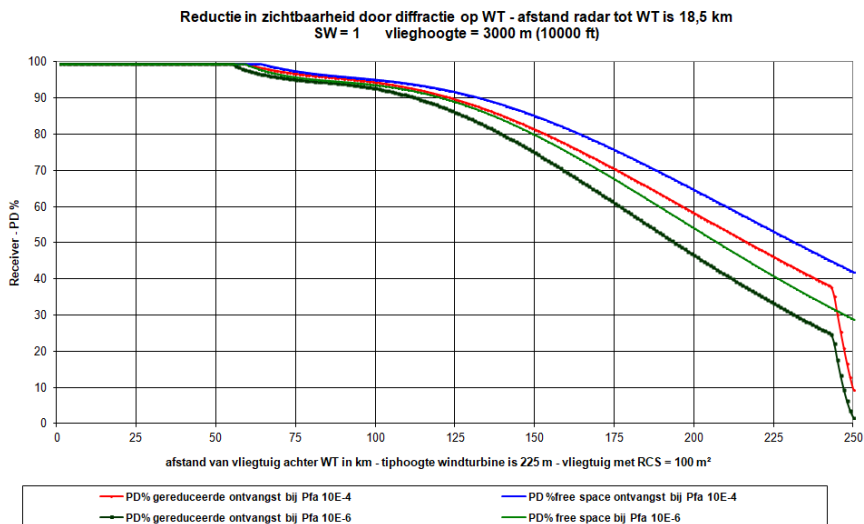
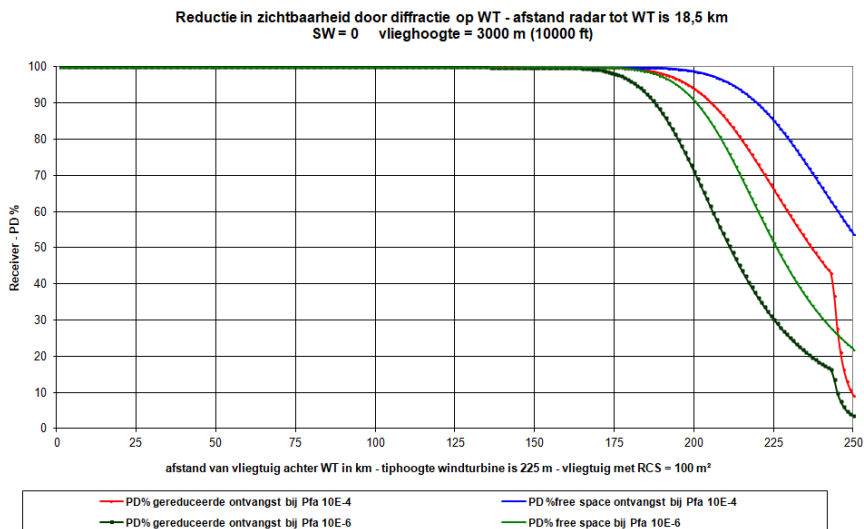
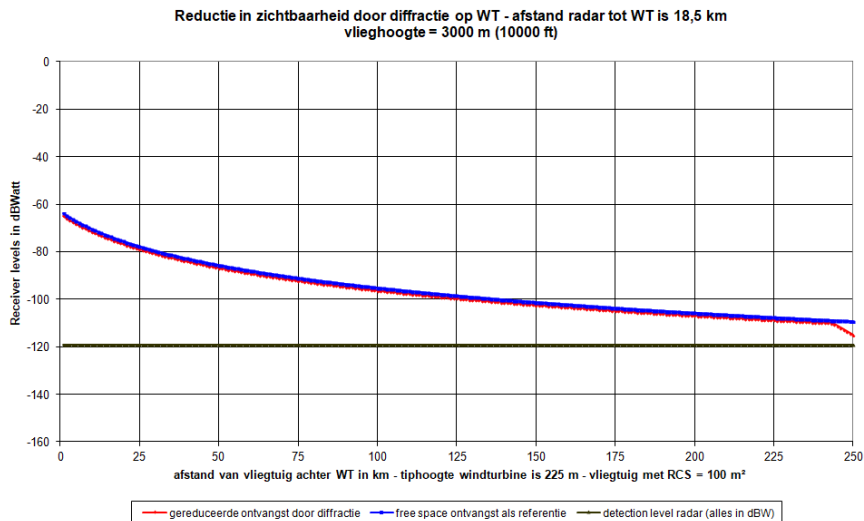


“Eerste keuze” tiphoogte 225 m – RCS 100 m²

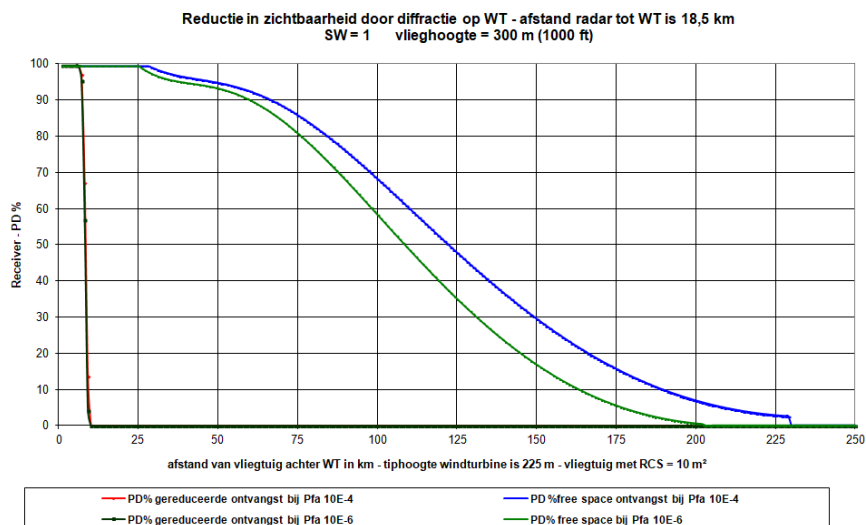
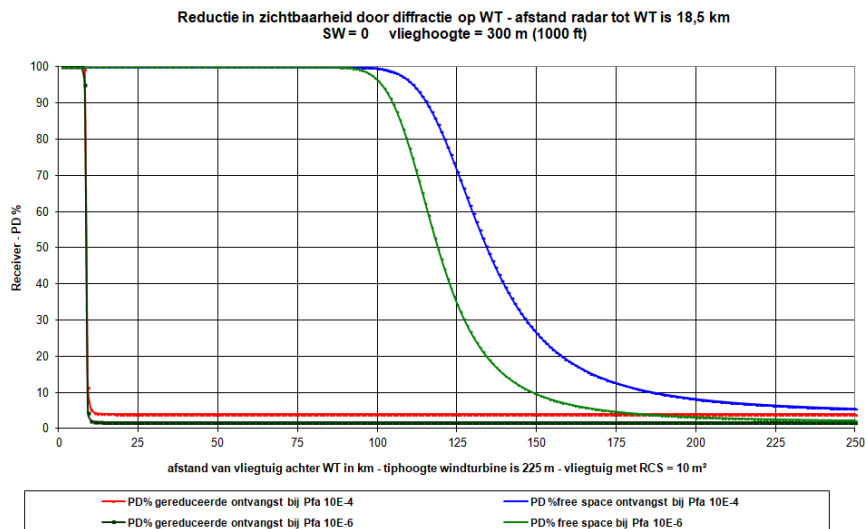
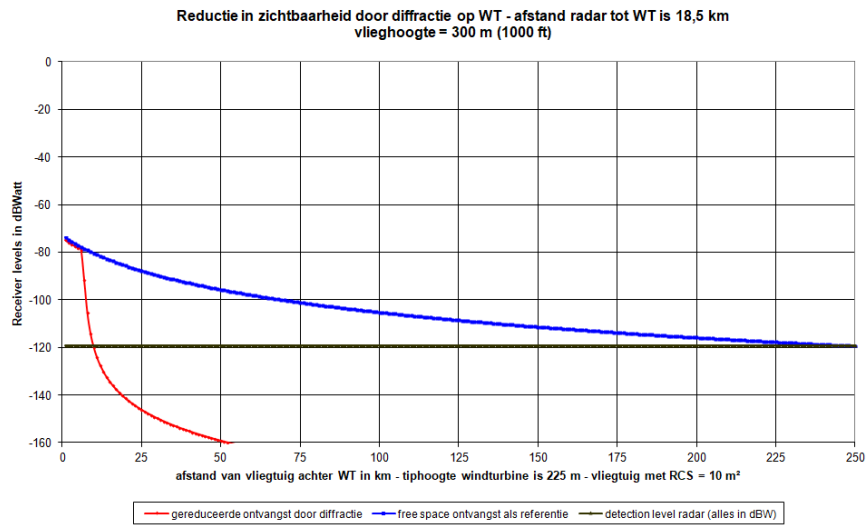


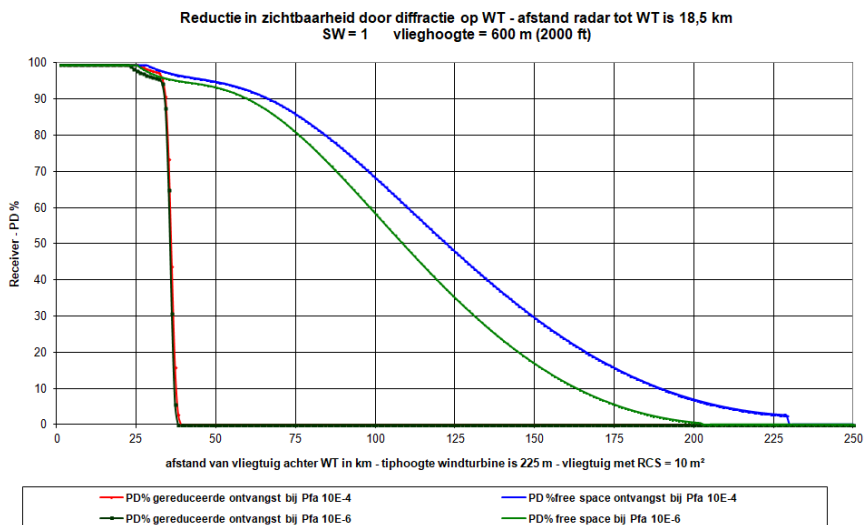
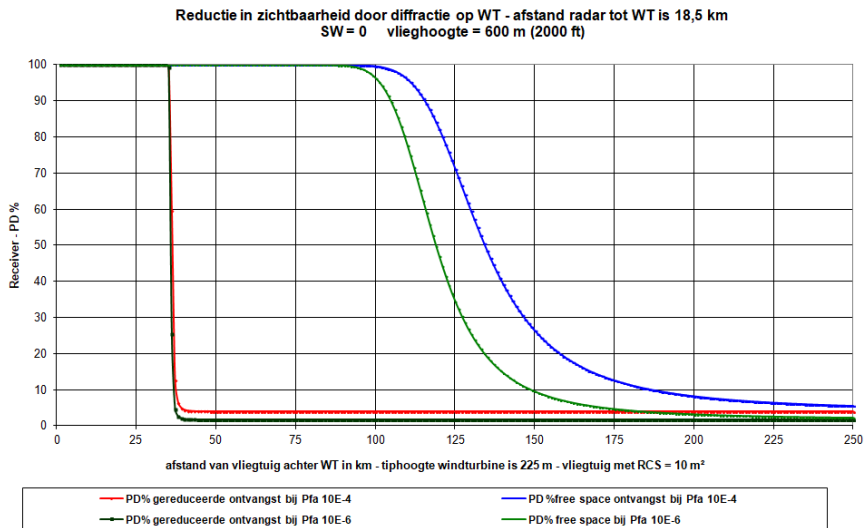
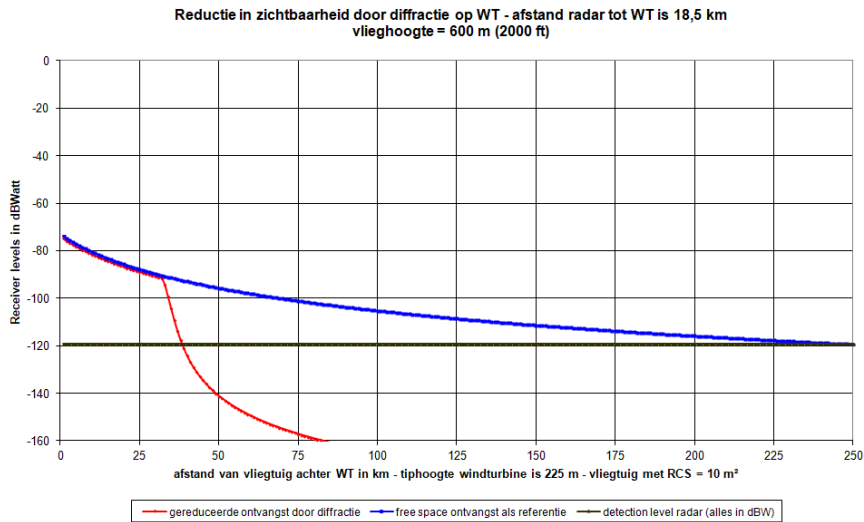


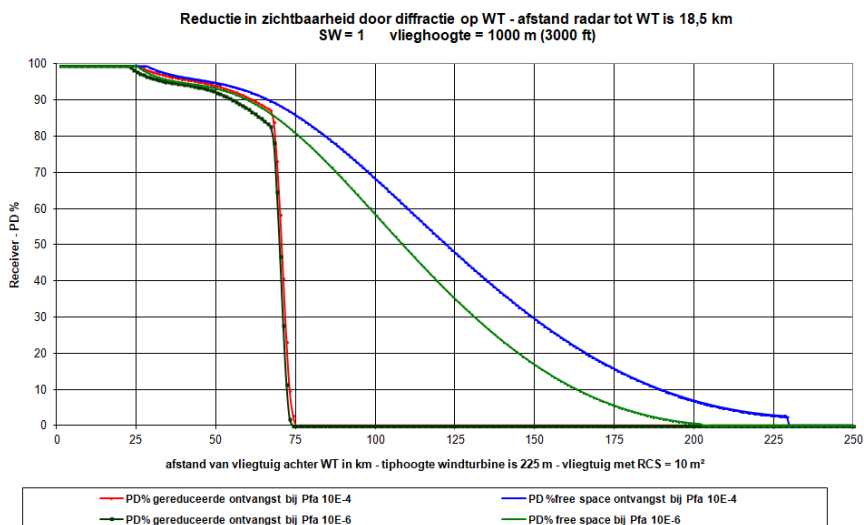
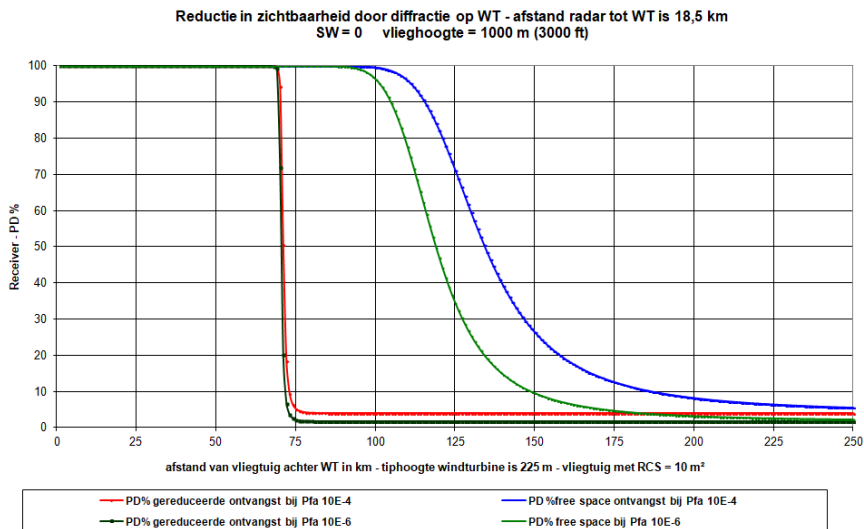
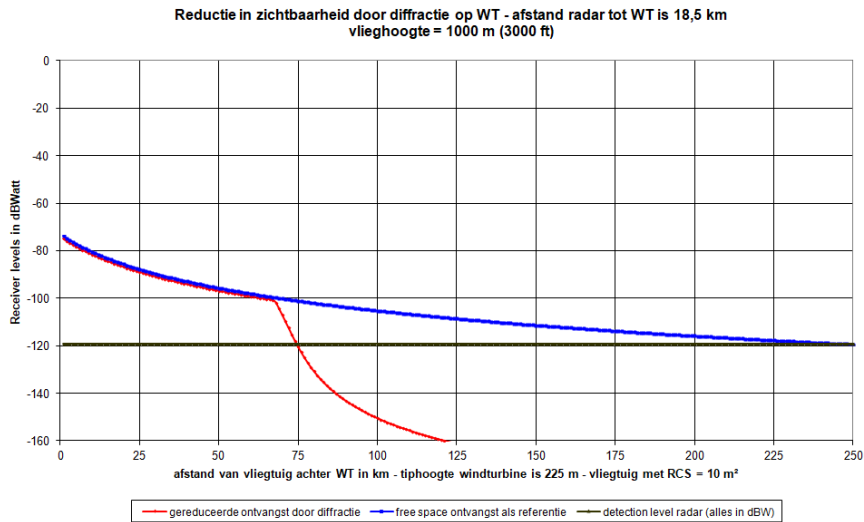


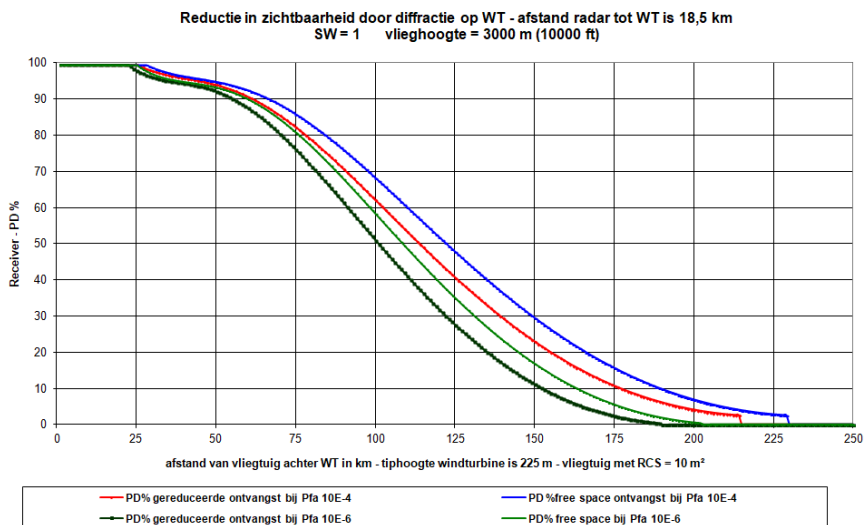
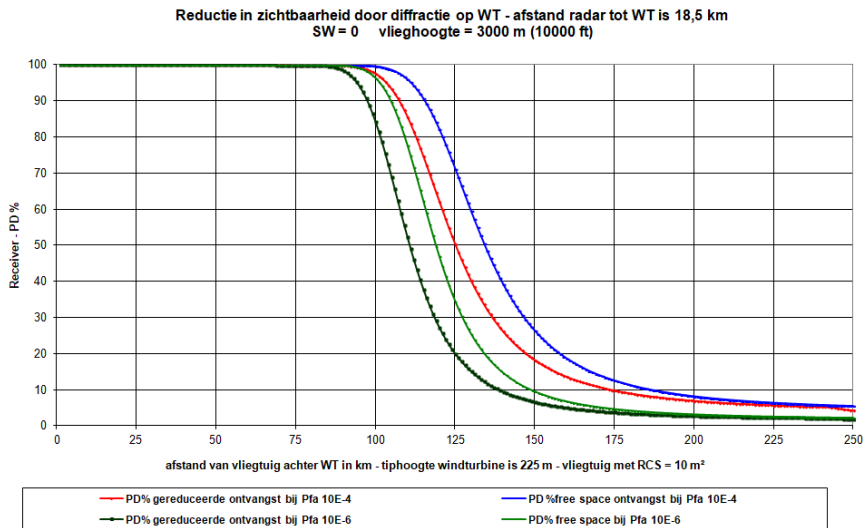
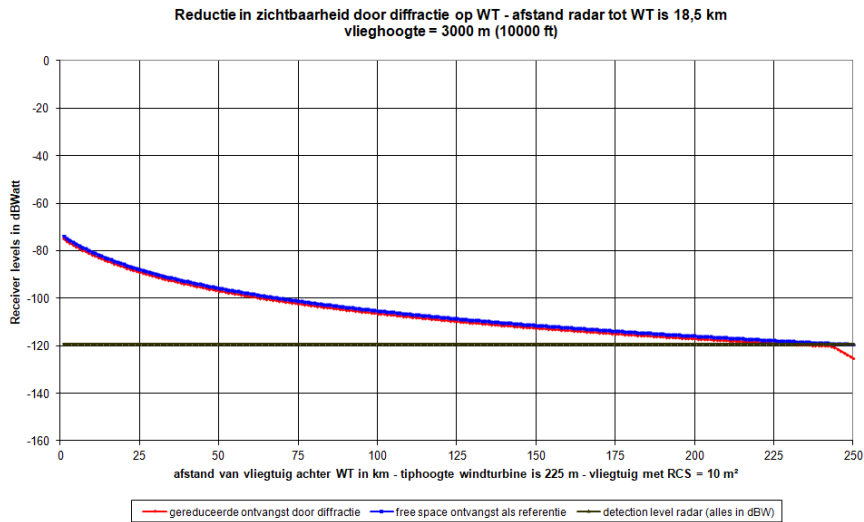


“Eerste keuze” tiphoogte 225 m – RCS 10 m²

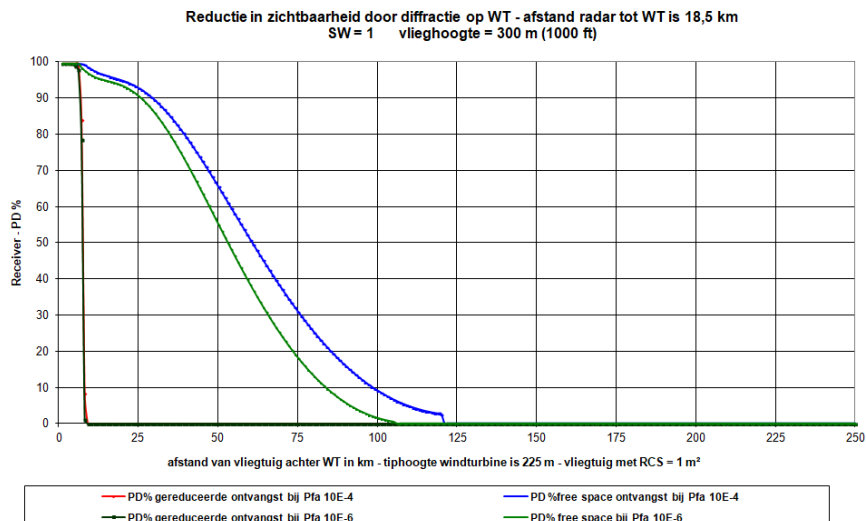
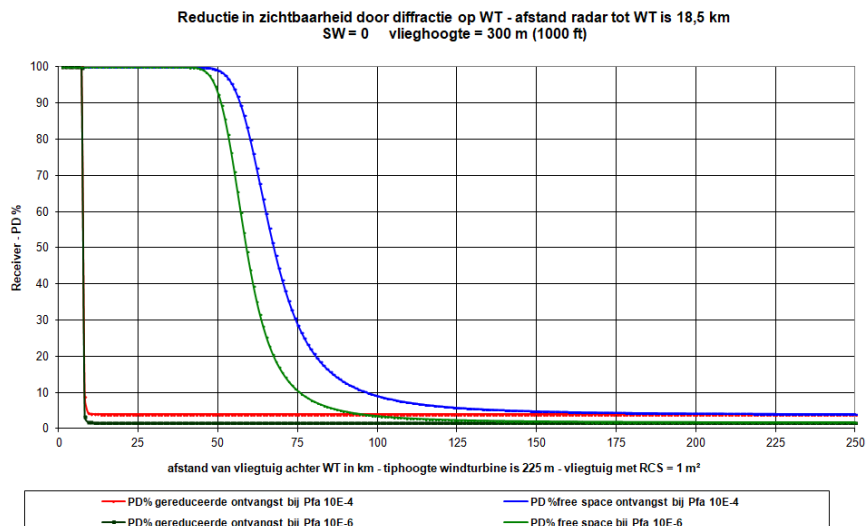
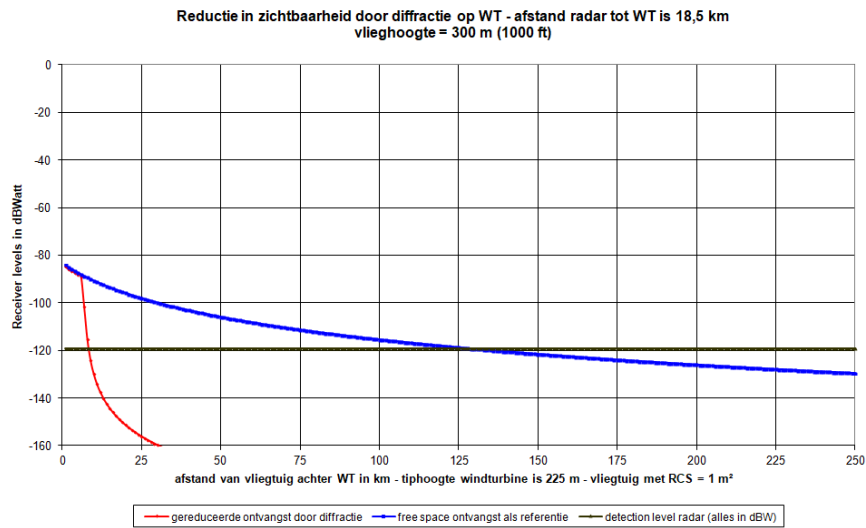


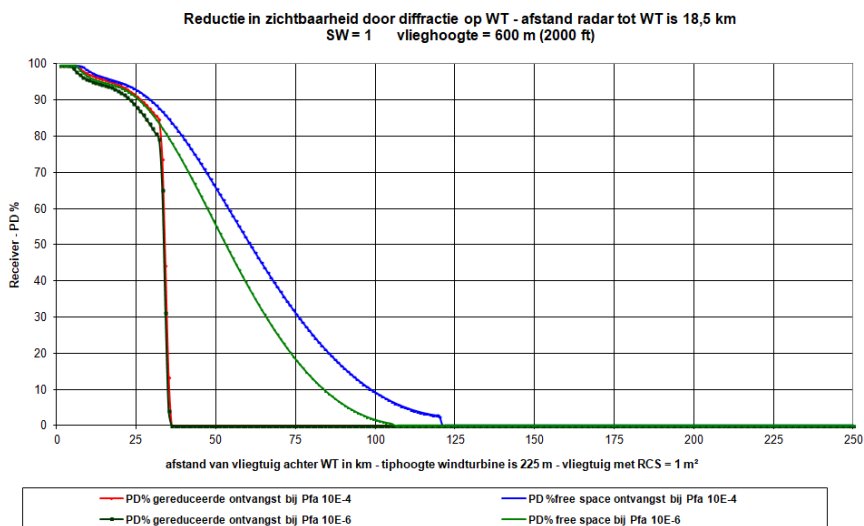
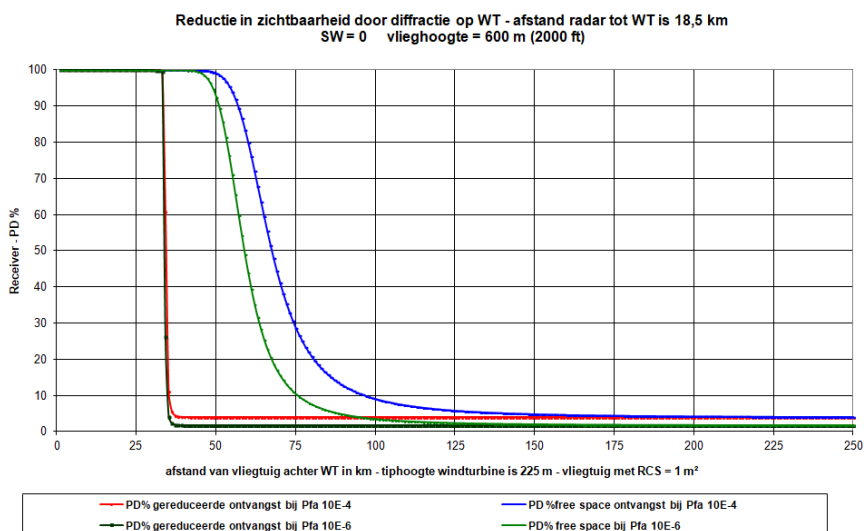
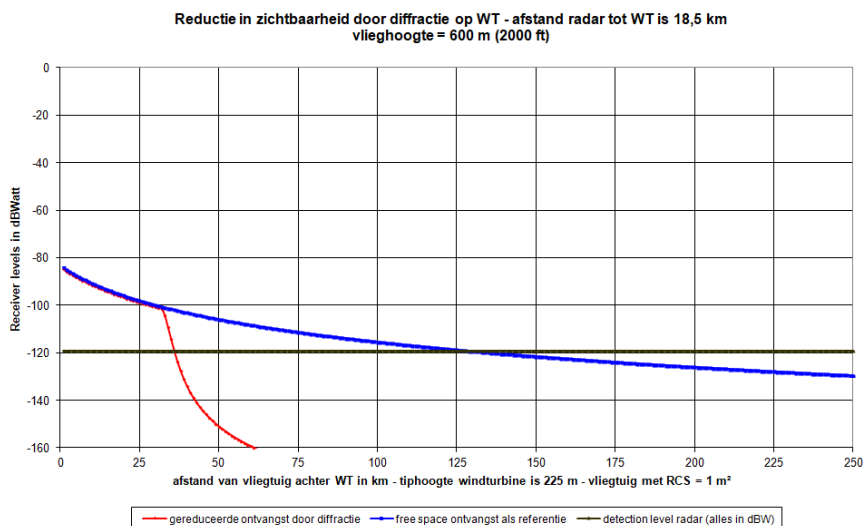


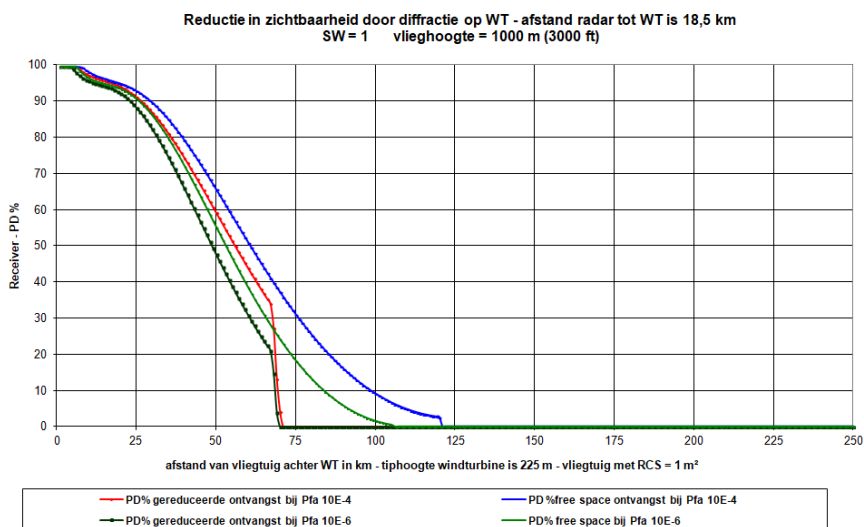
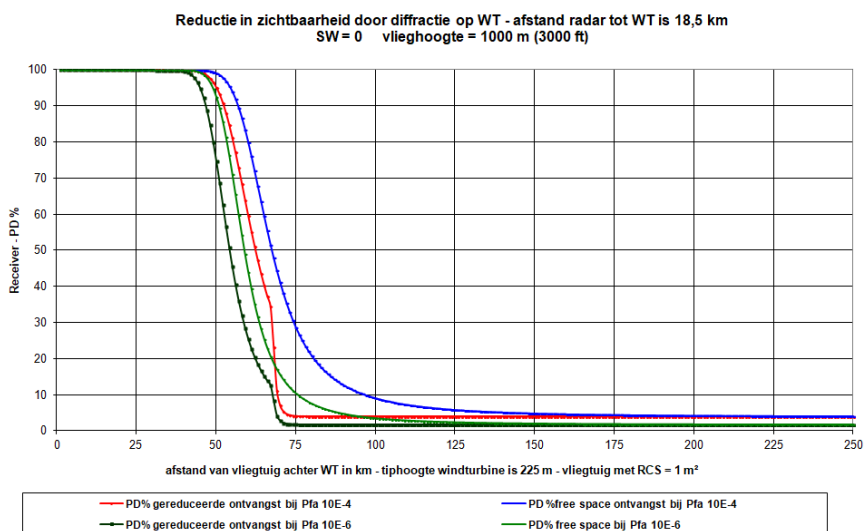
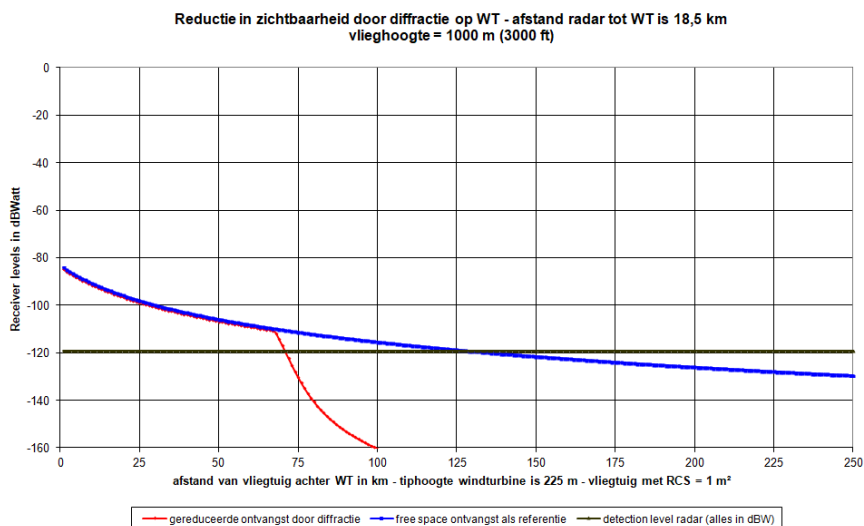


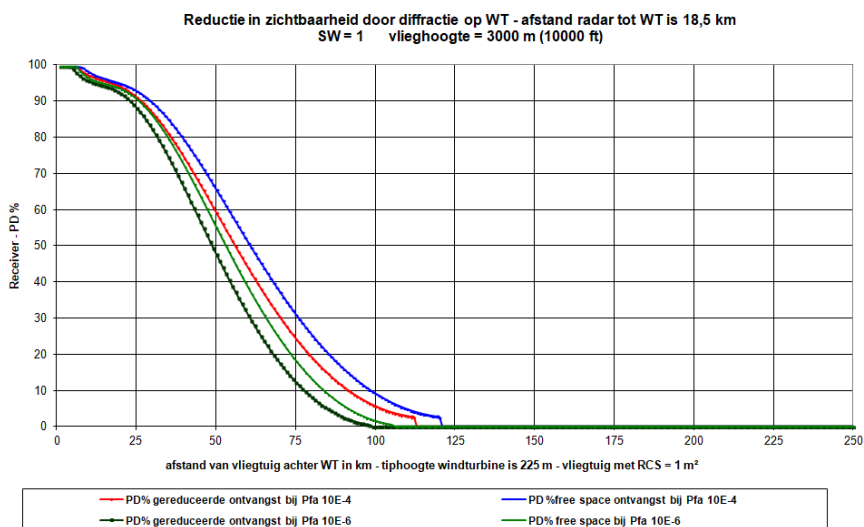
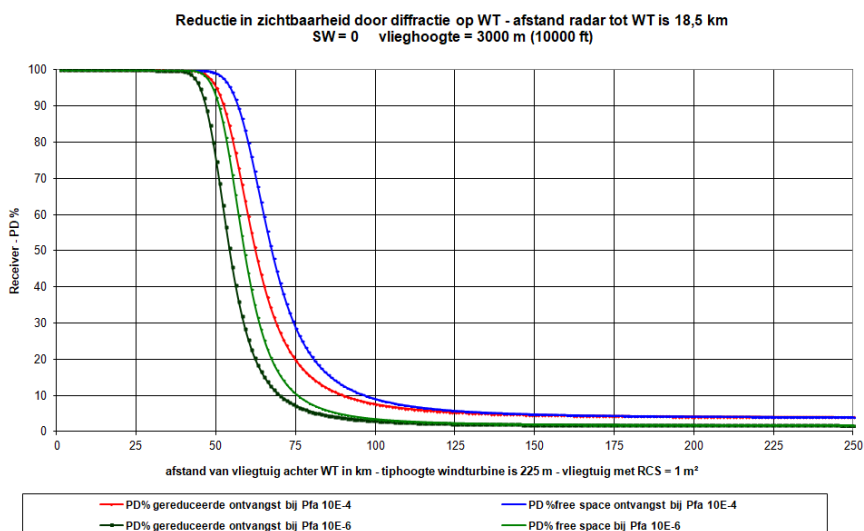
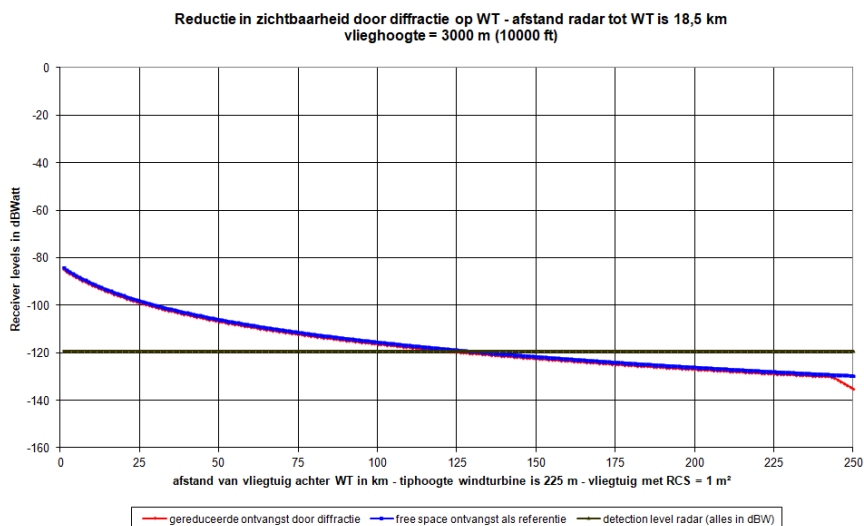


“Eerste keuze” tiphoogte 225 m – RCS 1 m²

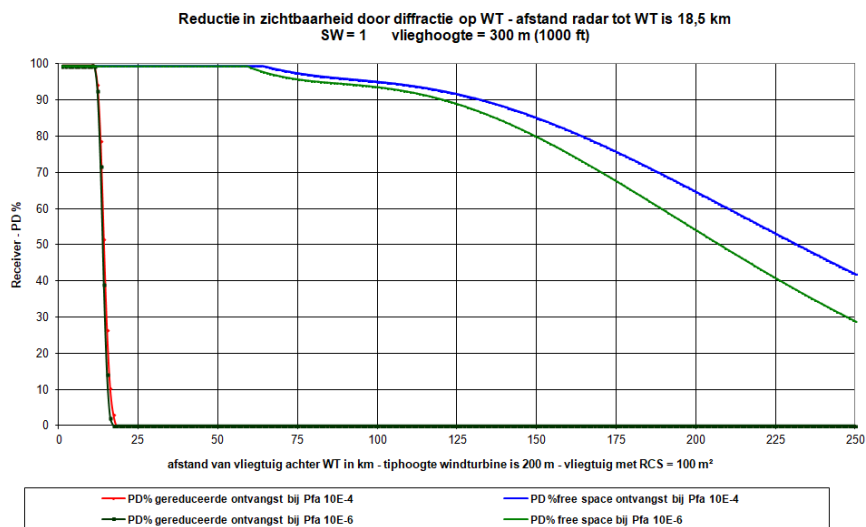
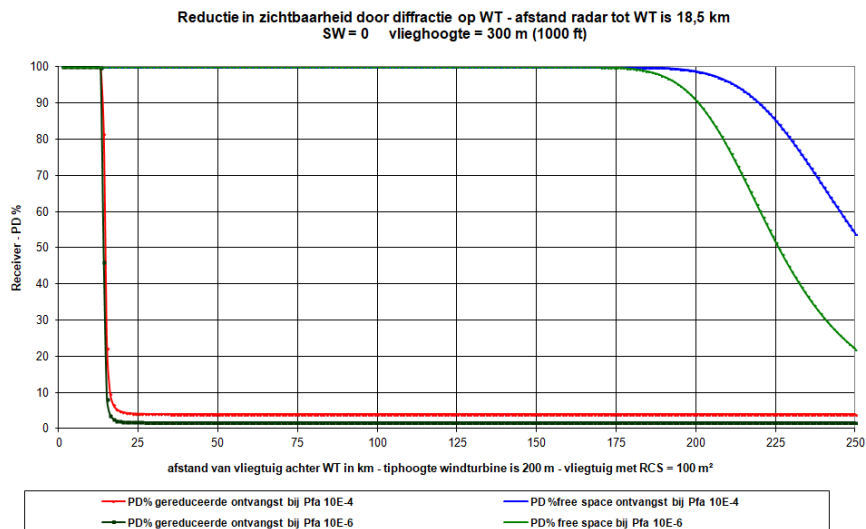
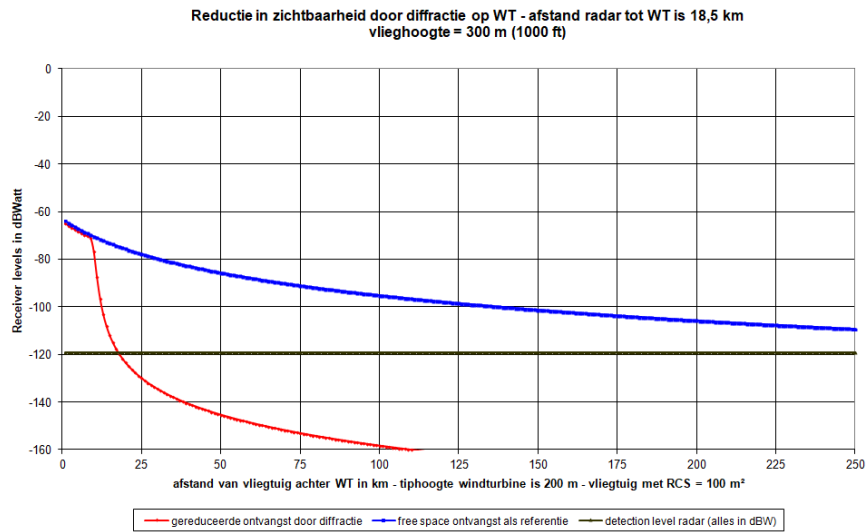


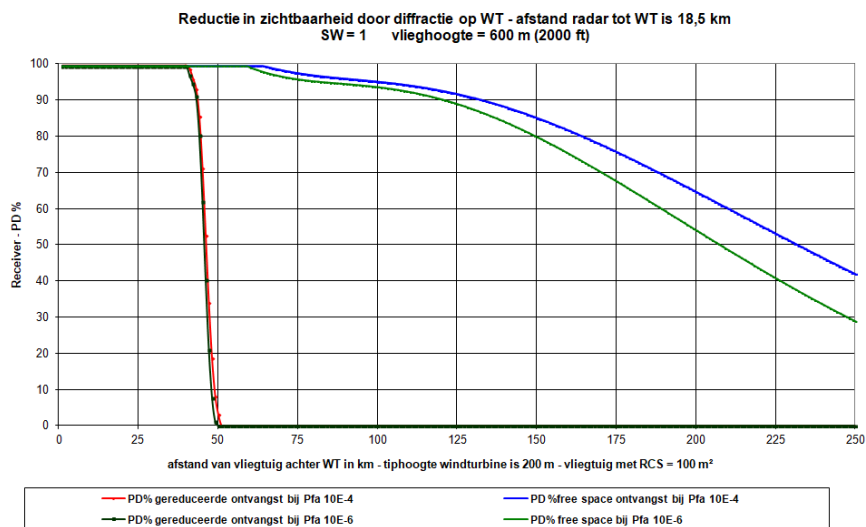
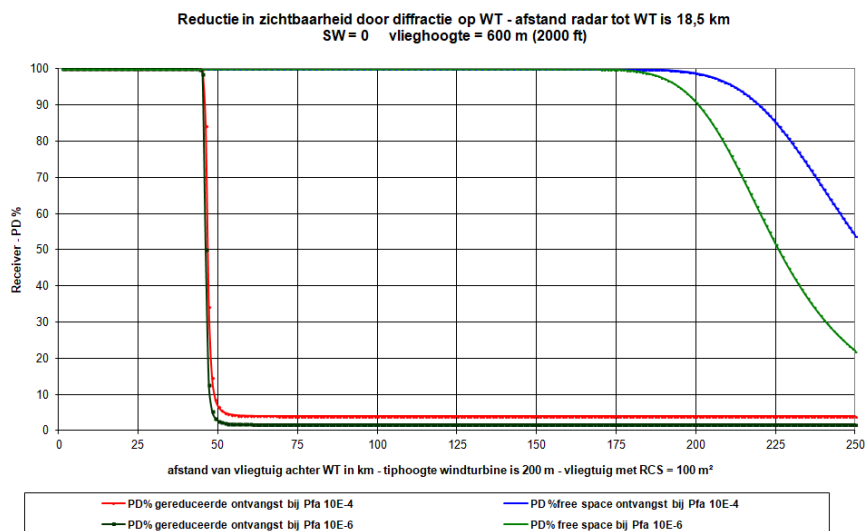
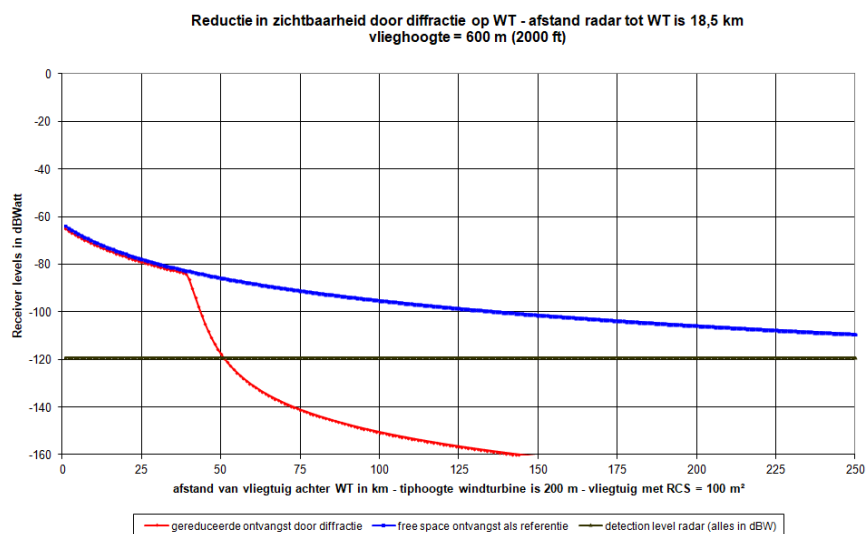


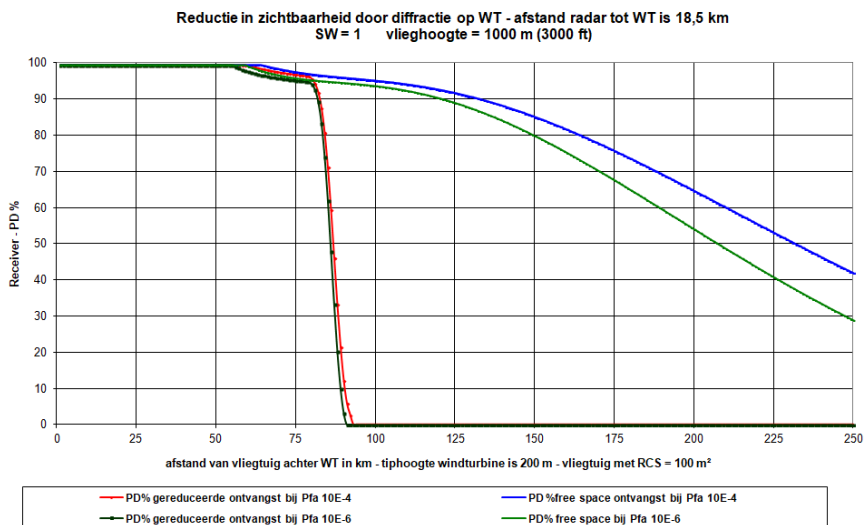
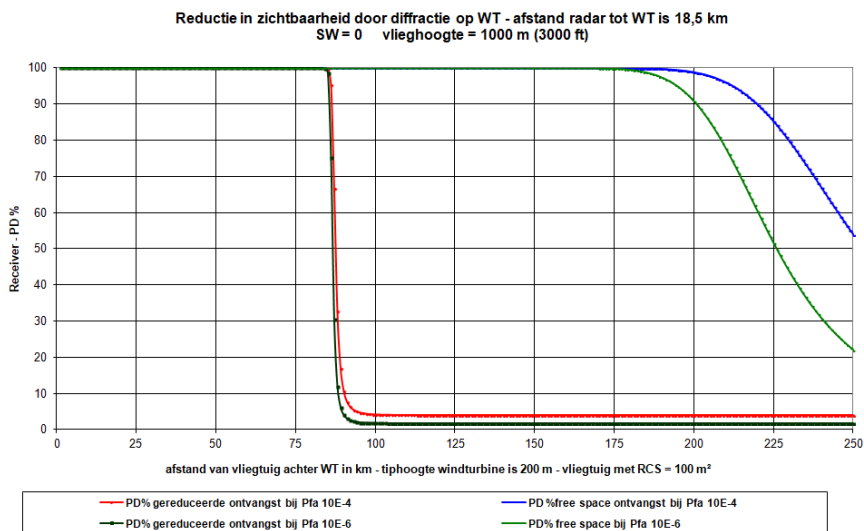
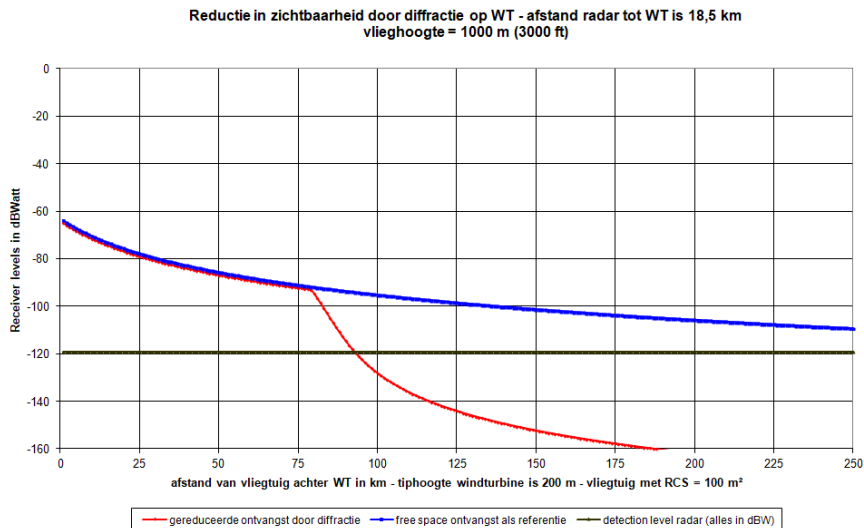


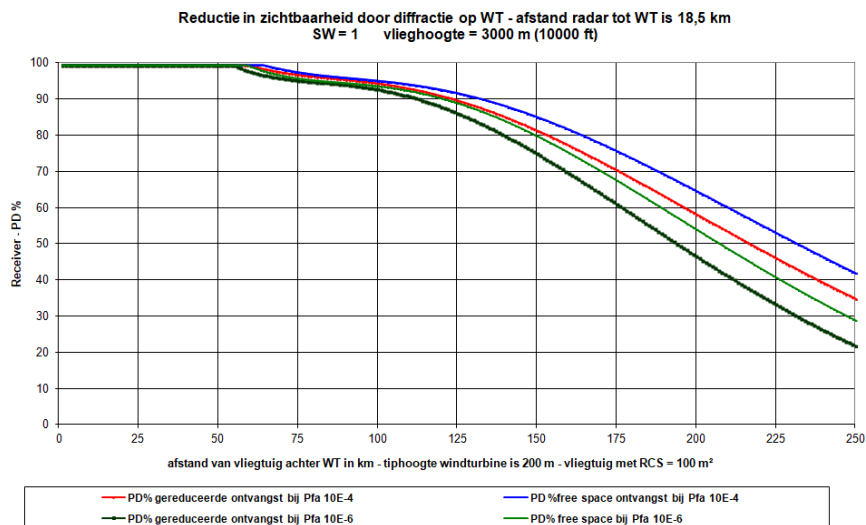
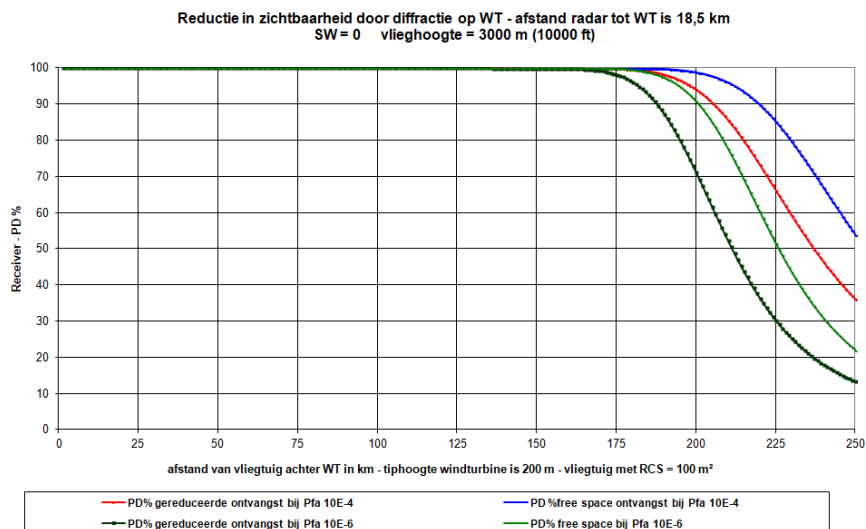
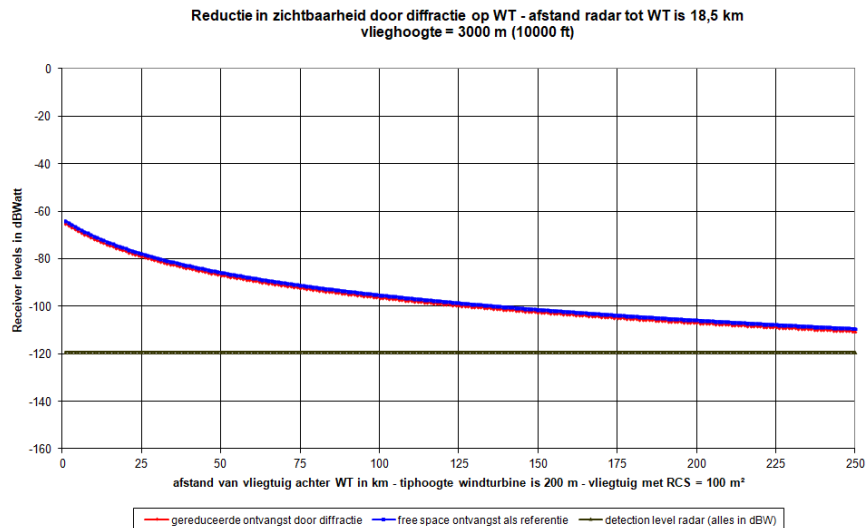


“Tweede optie” tiphoogte 200 m – RCS 100 m²

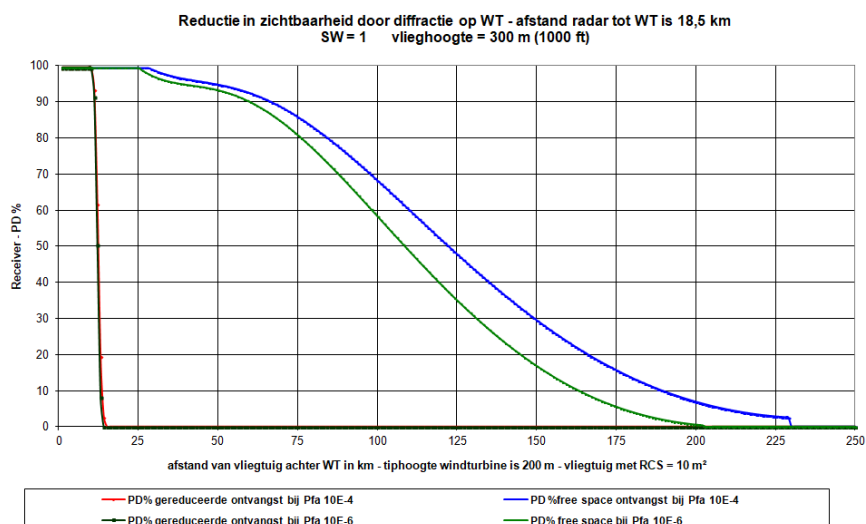
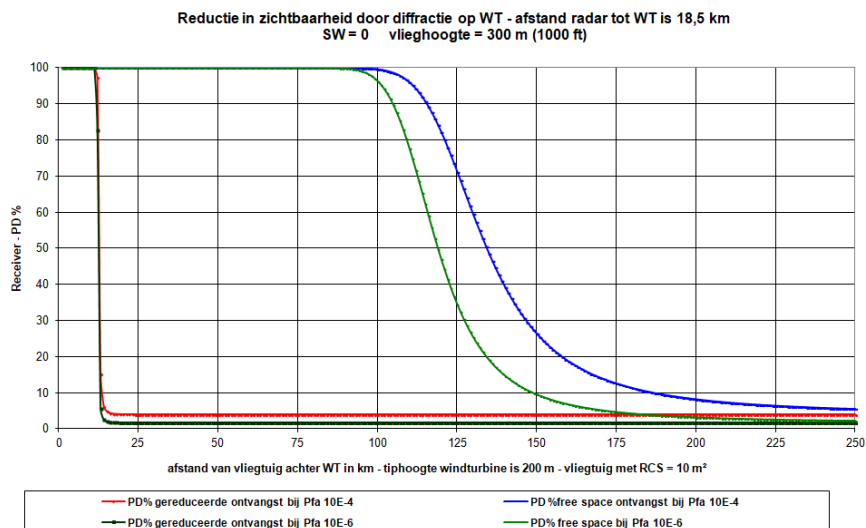
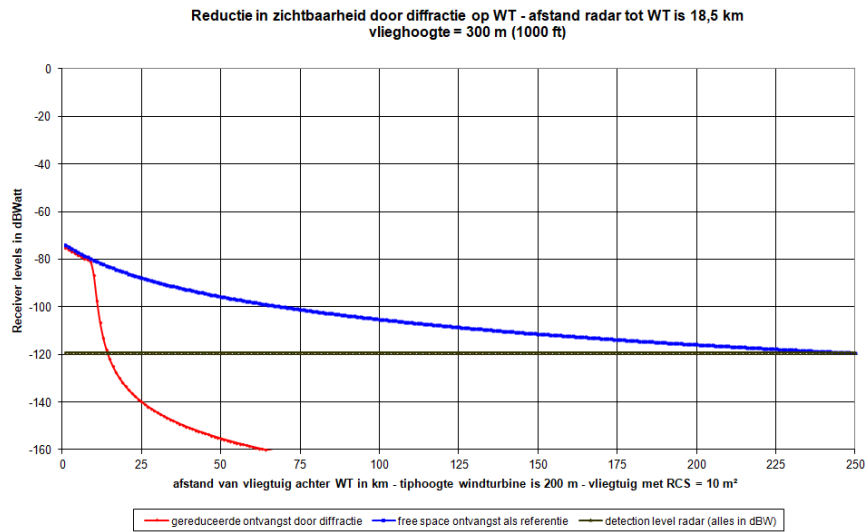




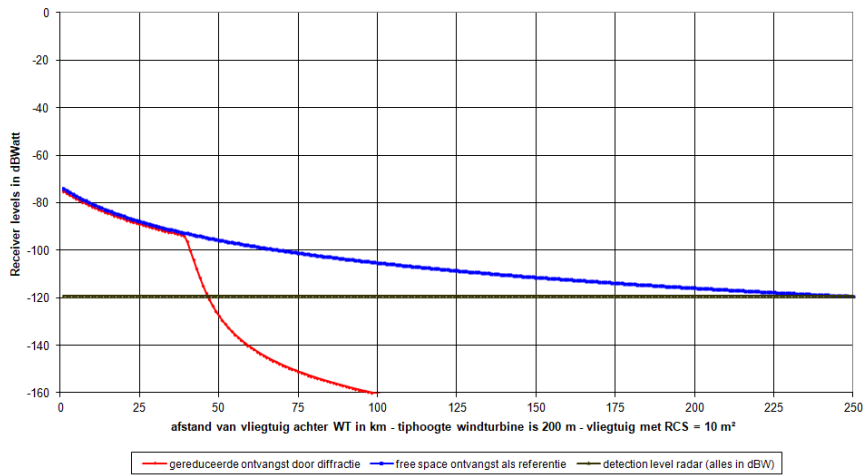




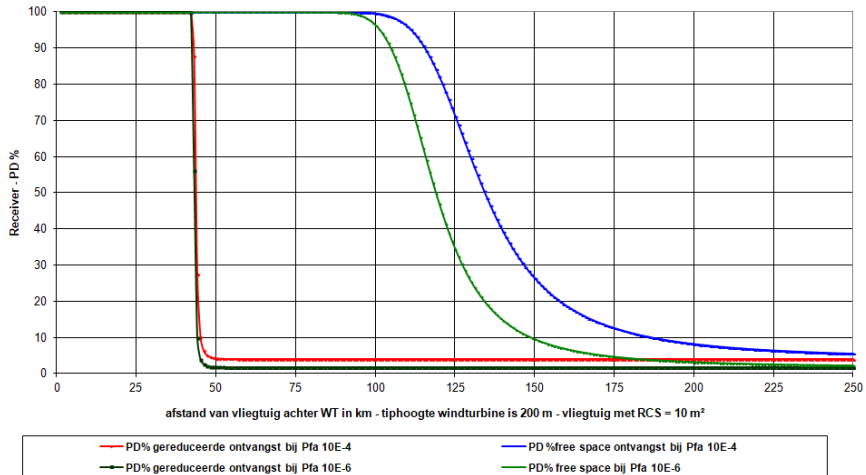
“Tweede optie” tiphoogte 200 m – RCS 10 m²



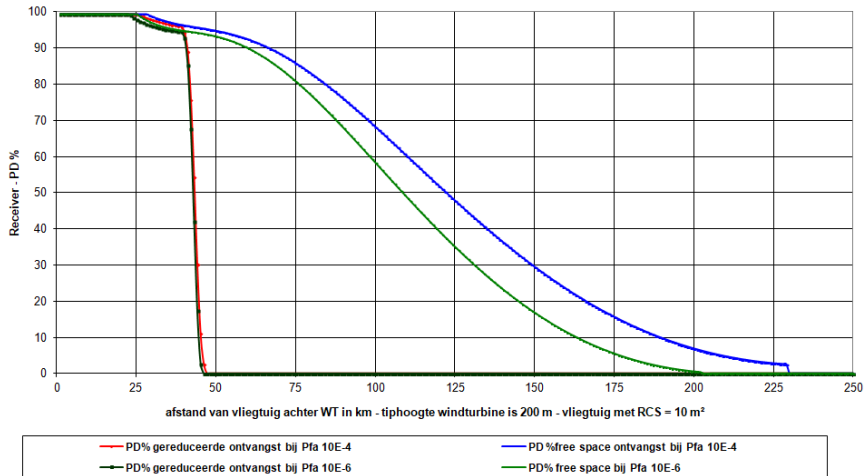
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



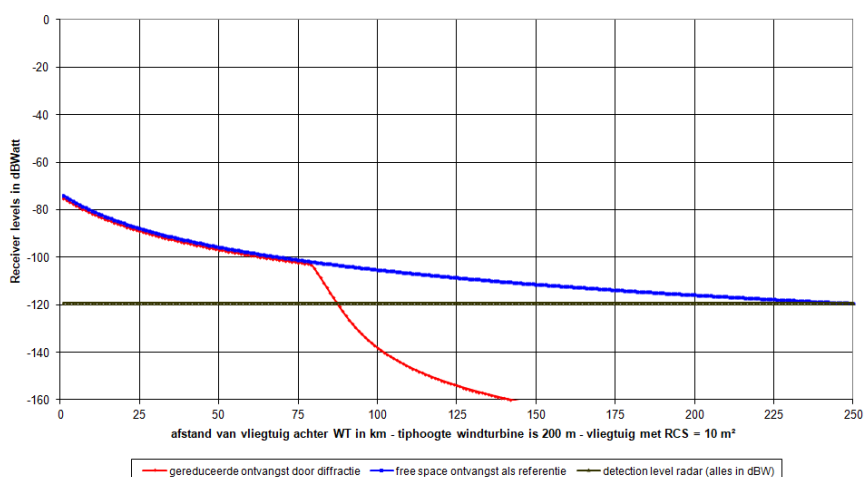
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



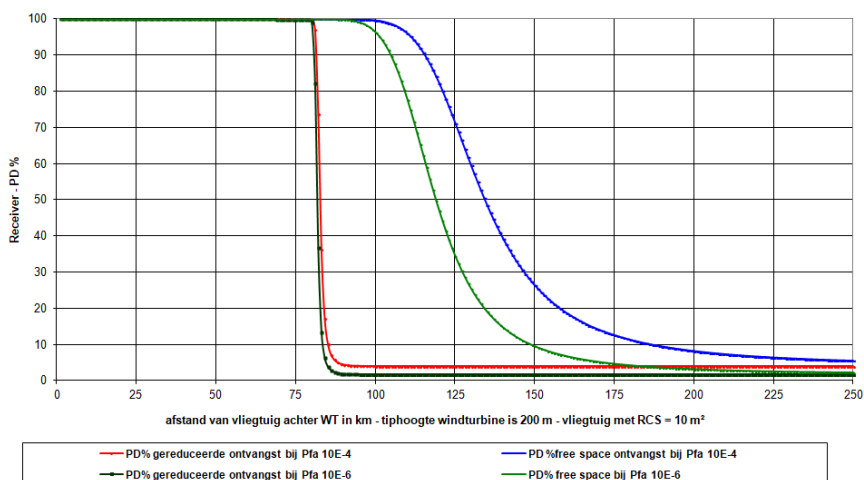
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



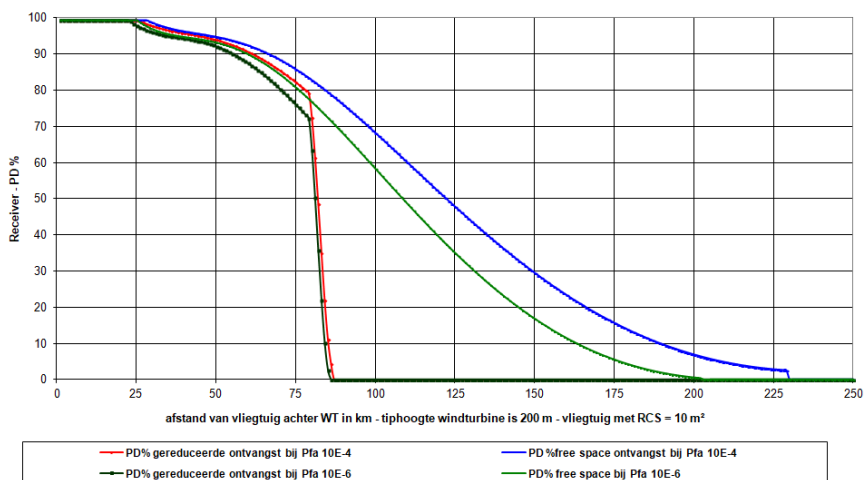
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

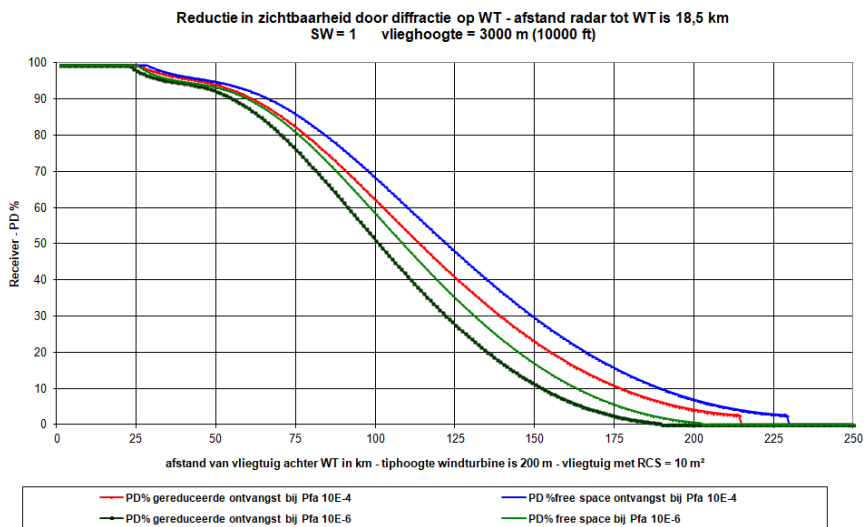
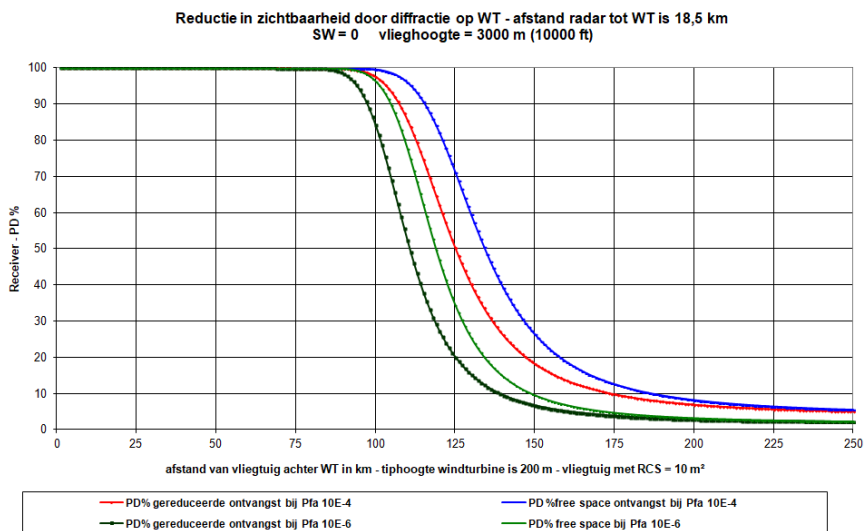
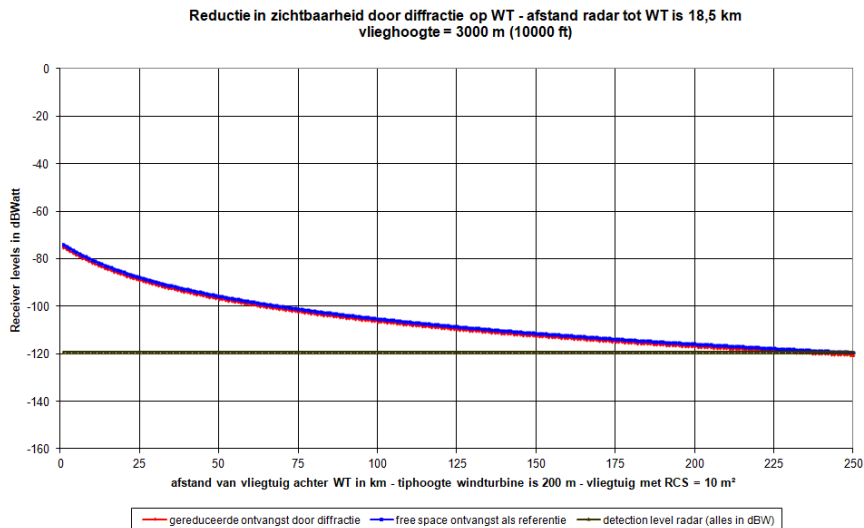


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

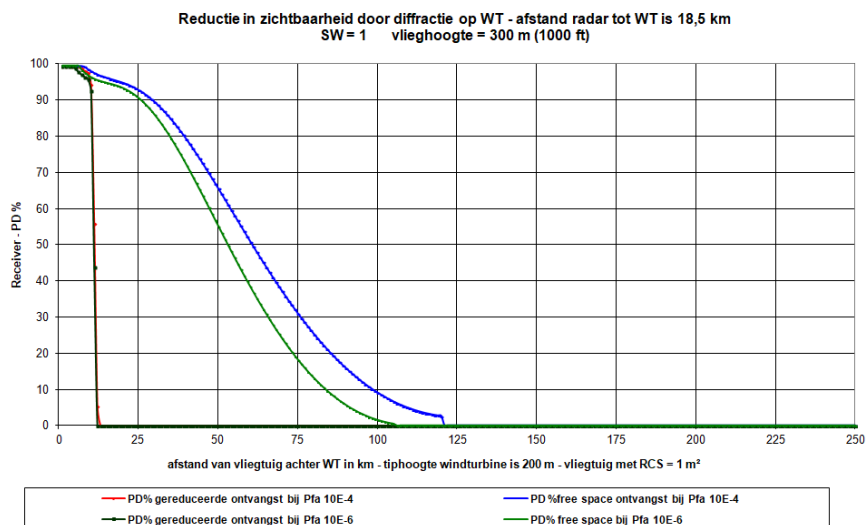
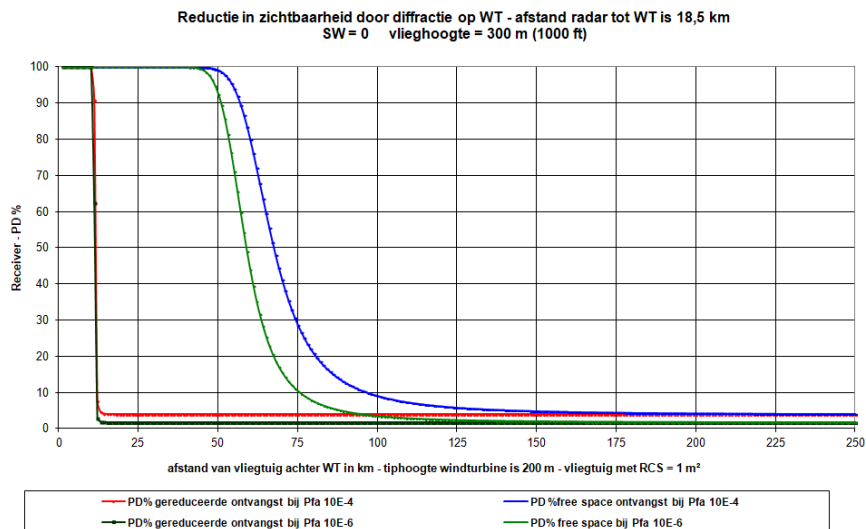
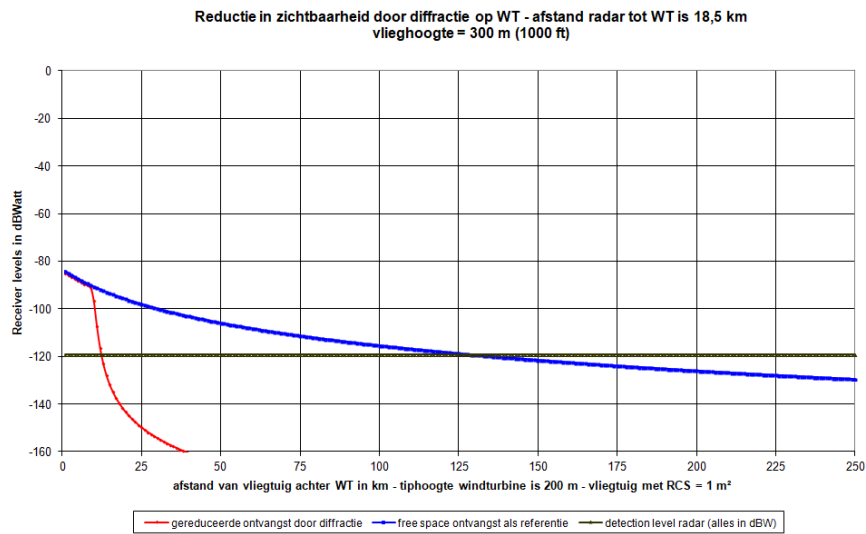


Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

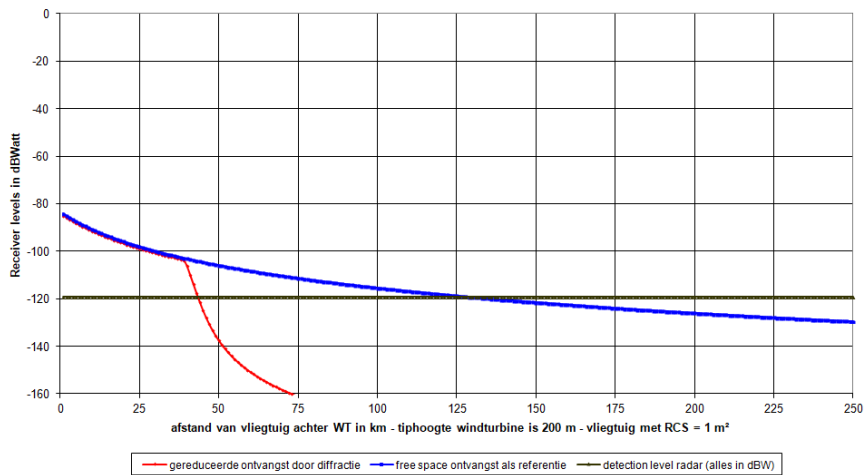




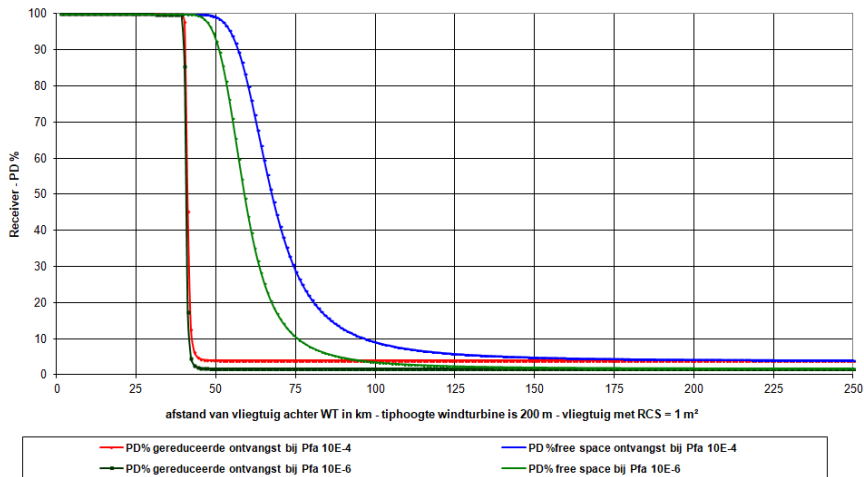
“Tweede optie” tiphoogte 200 m – RCS 1 m²



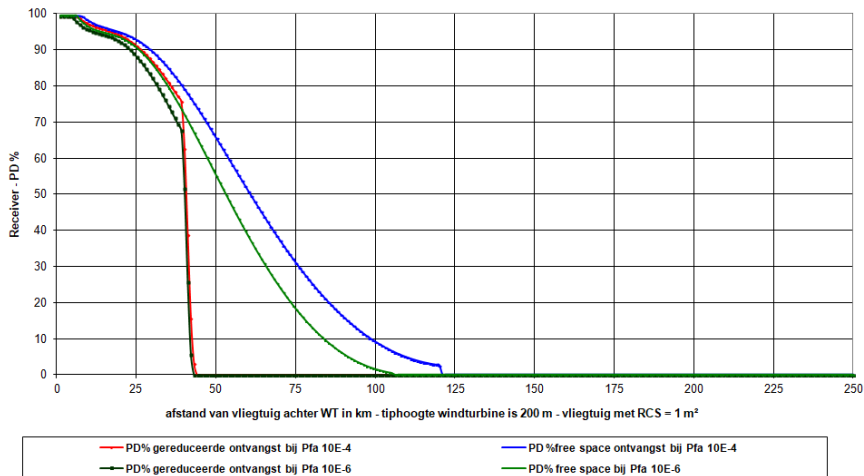
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



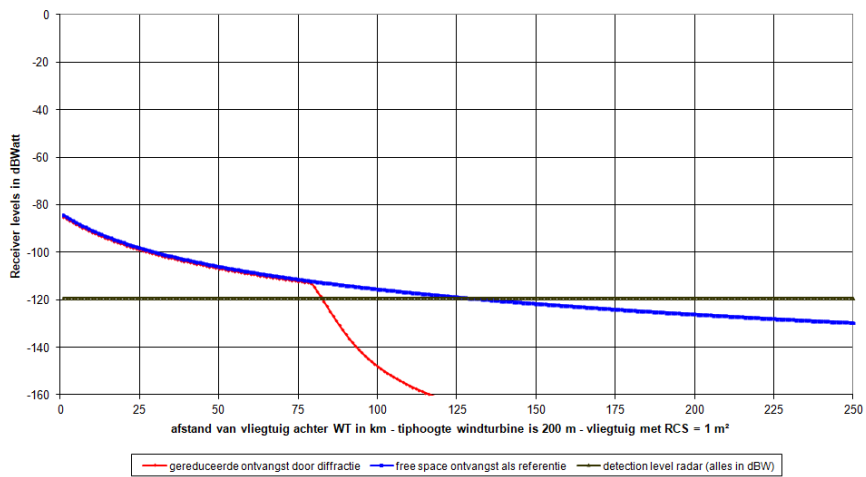
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



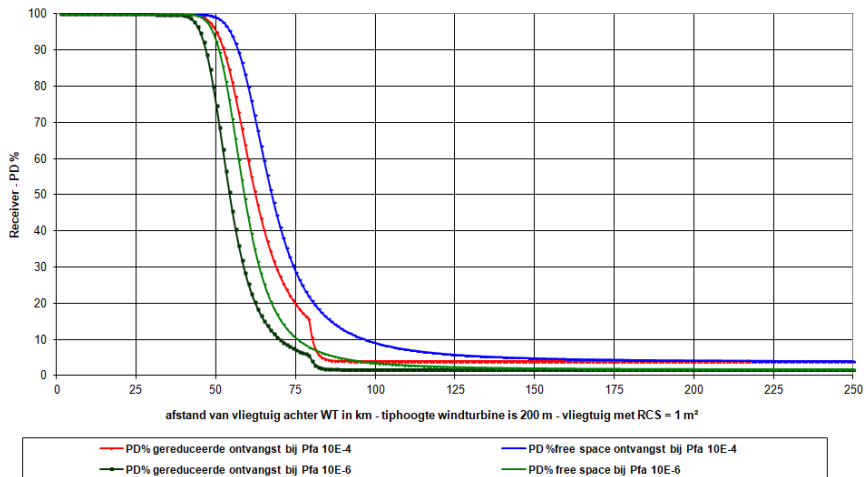
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 600 m (2000 ft)



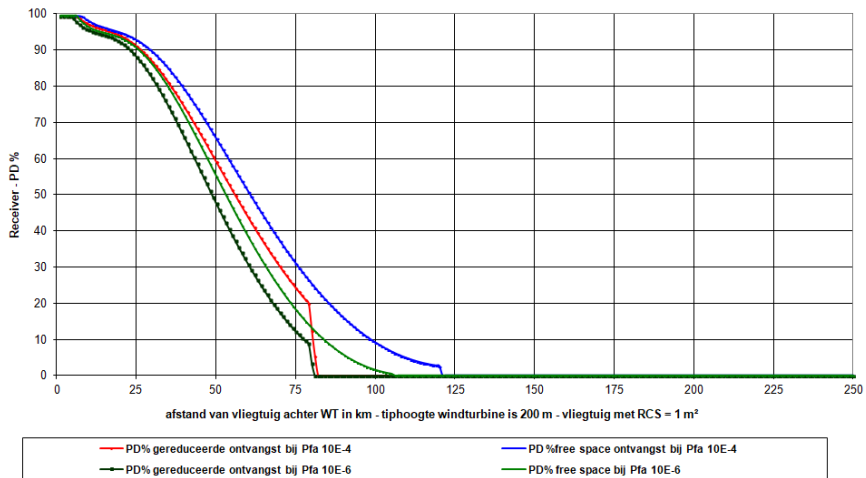
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



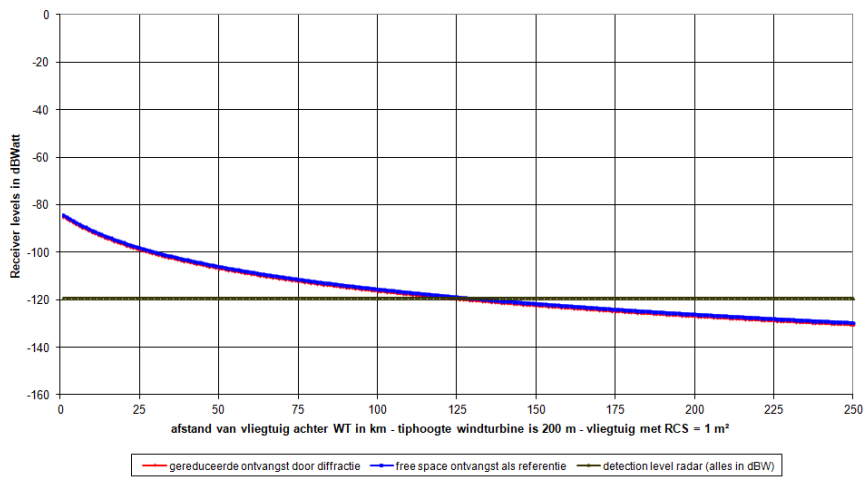
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



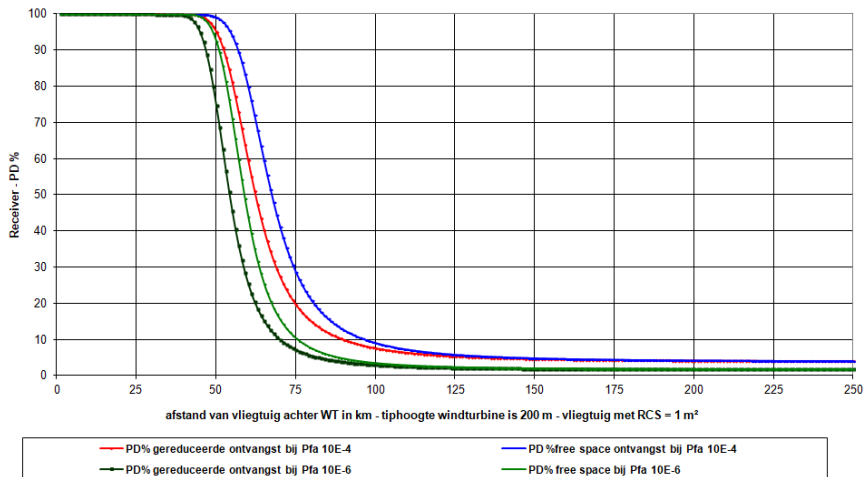
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



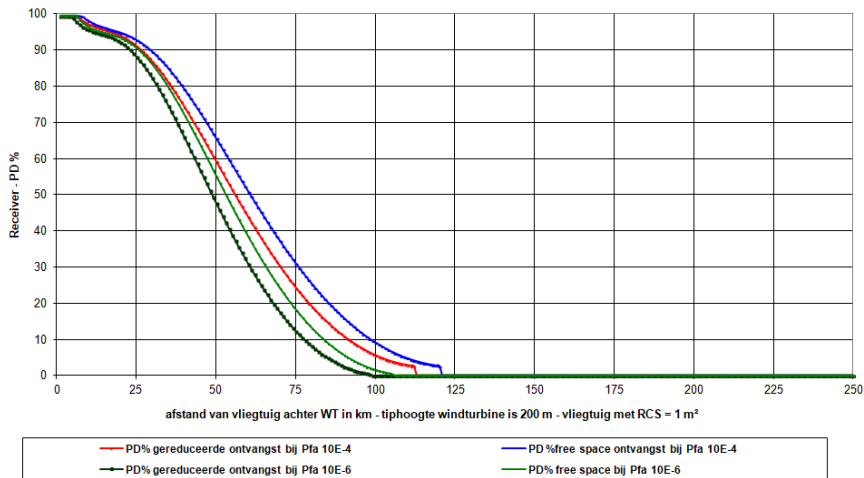
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 0 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



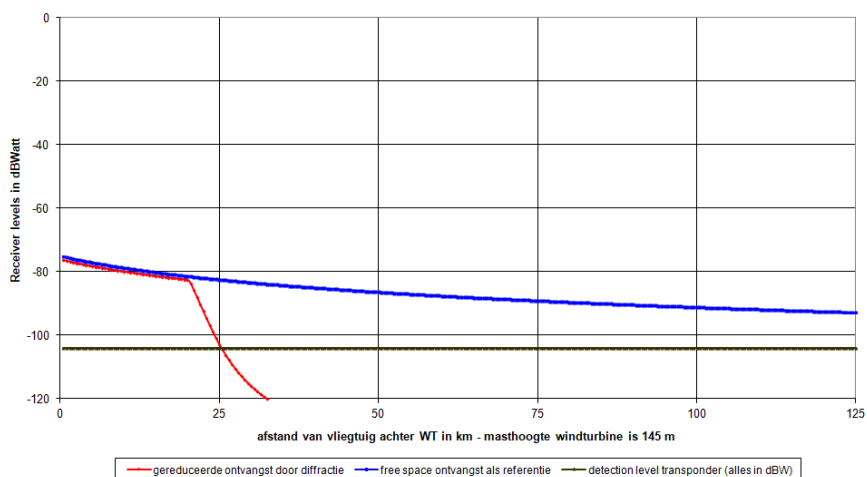
Reductie in zichtbaarheid door diffractie op WT - afstand radar tot WT is 18,5 km
SW = 1 vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



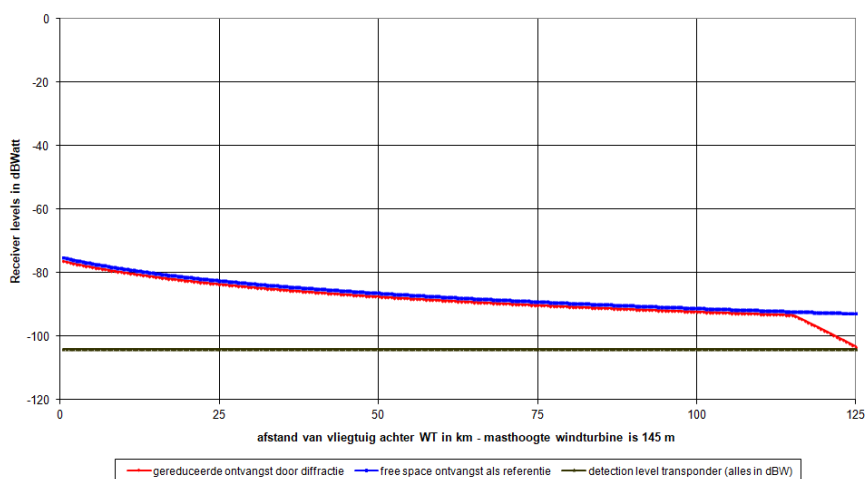
Annex 4.2. Verminderd ontvangstbereik SSR

“Eerste keuze” masthoogte 145 m

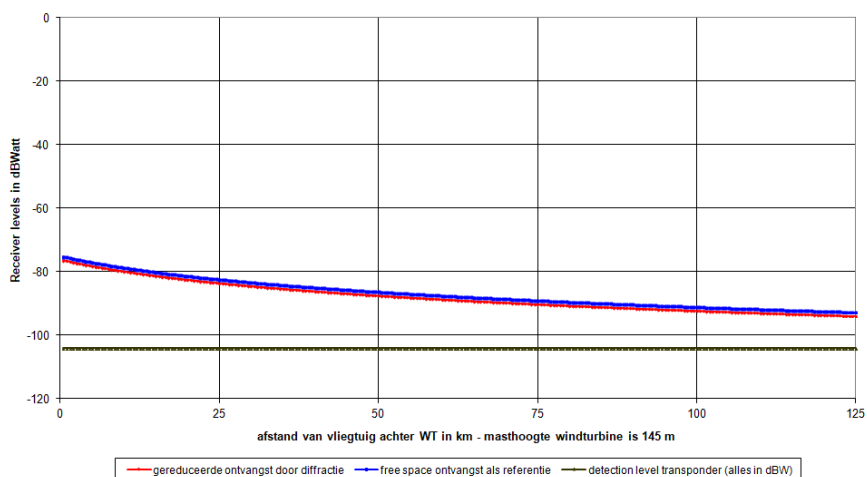
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

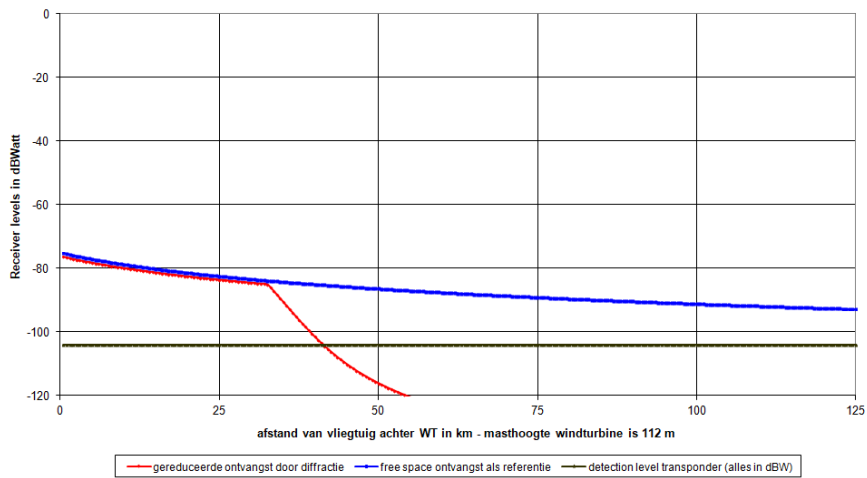


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

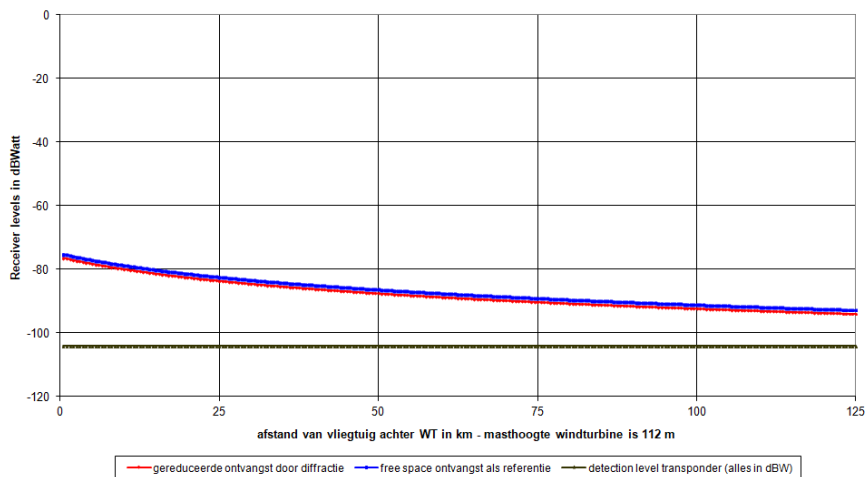


“Tweede optie” masthoogte 112 m

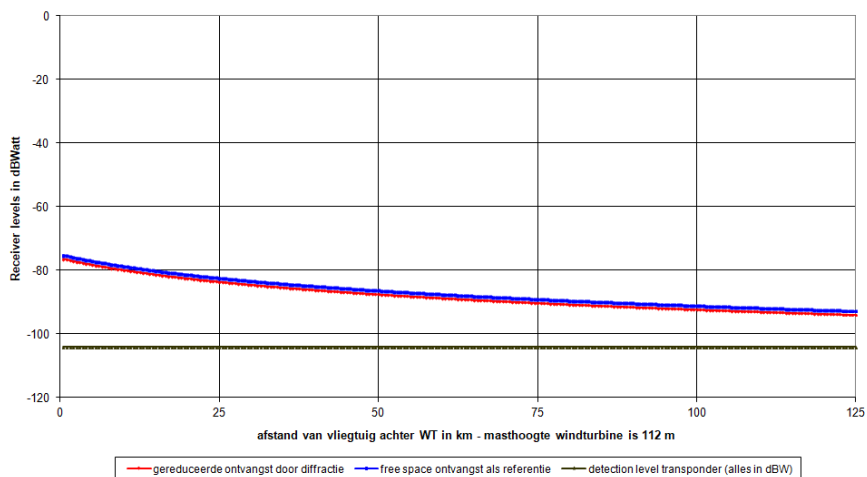
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

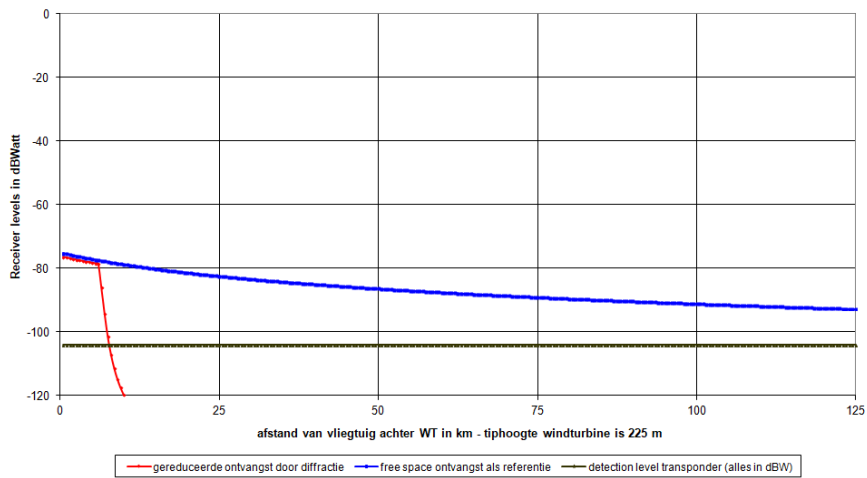


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

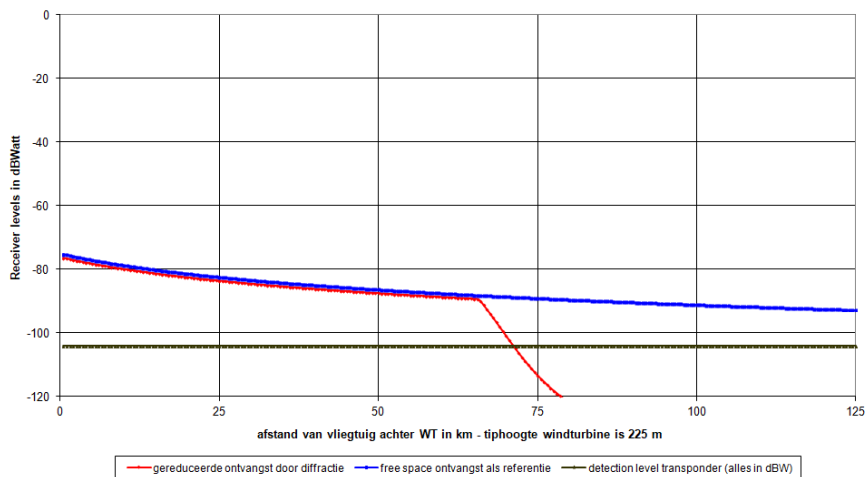


“Eerste keuze” tiphoogte 225 m

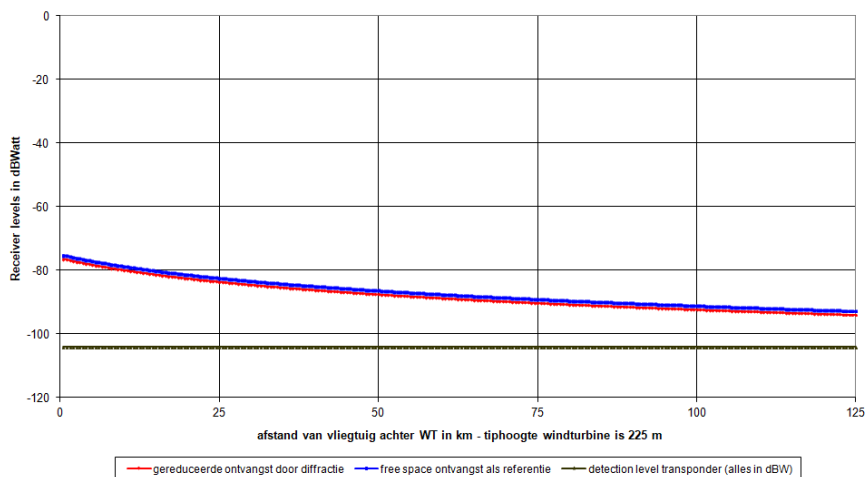
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

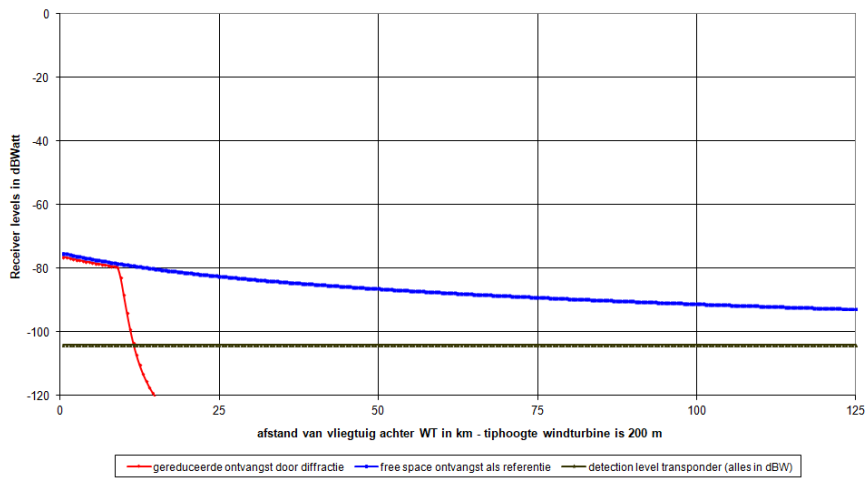


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

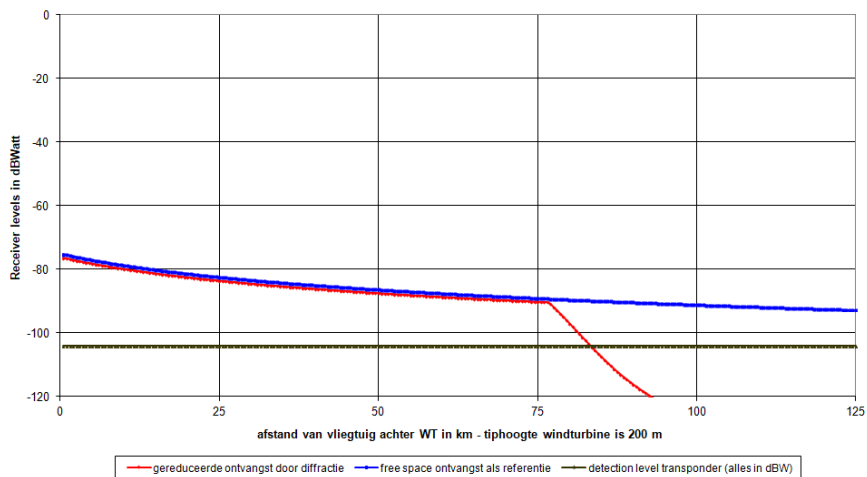


“Tweede optie” tiphoogte 200 m

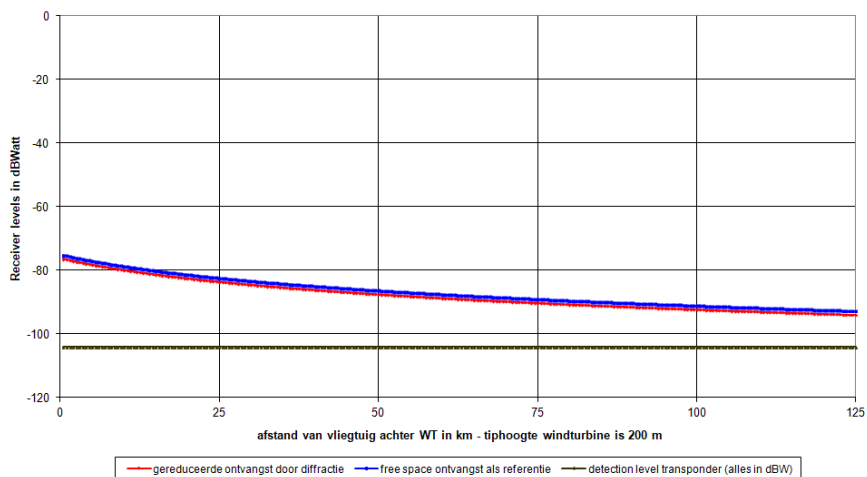
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



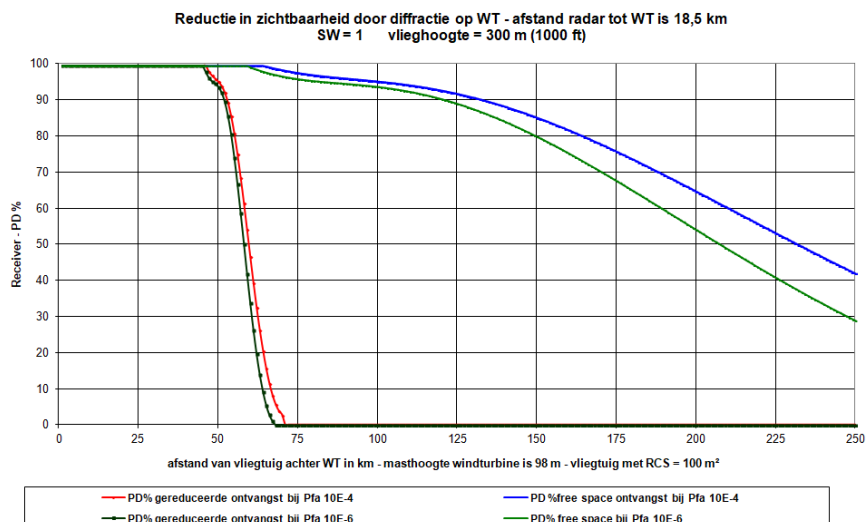
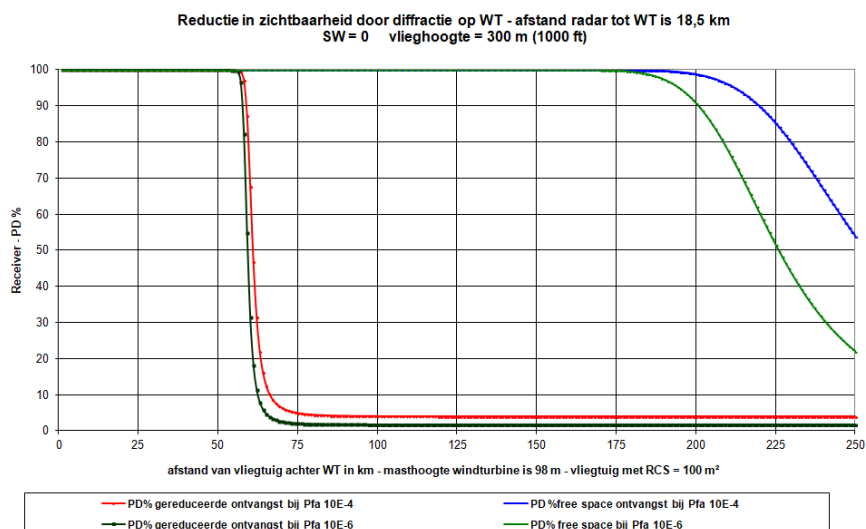
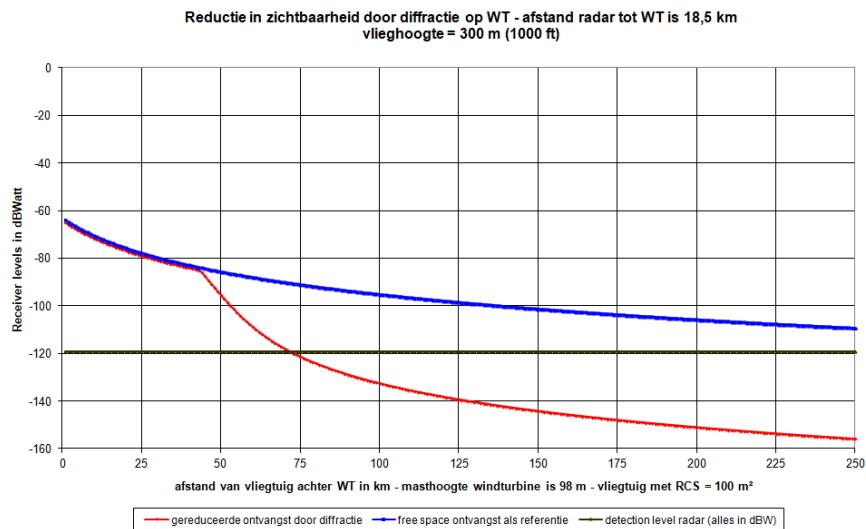
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

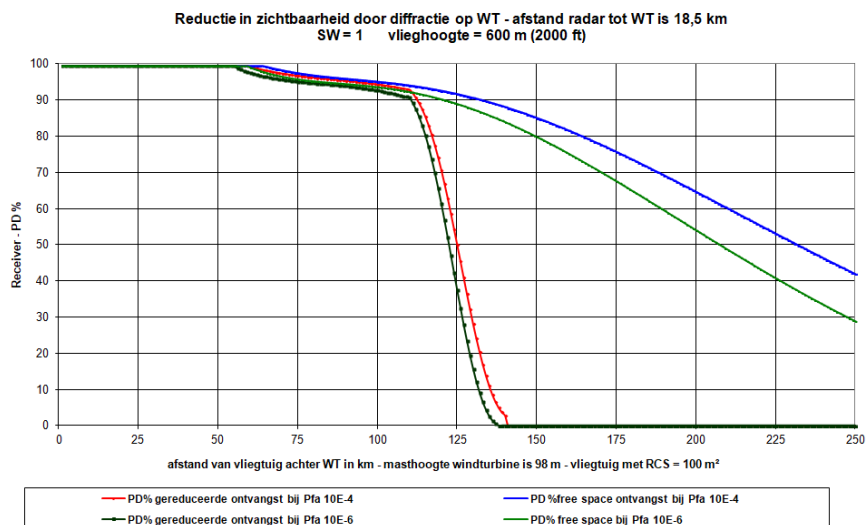
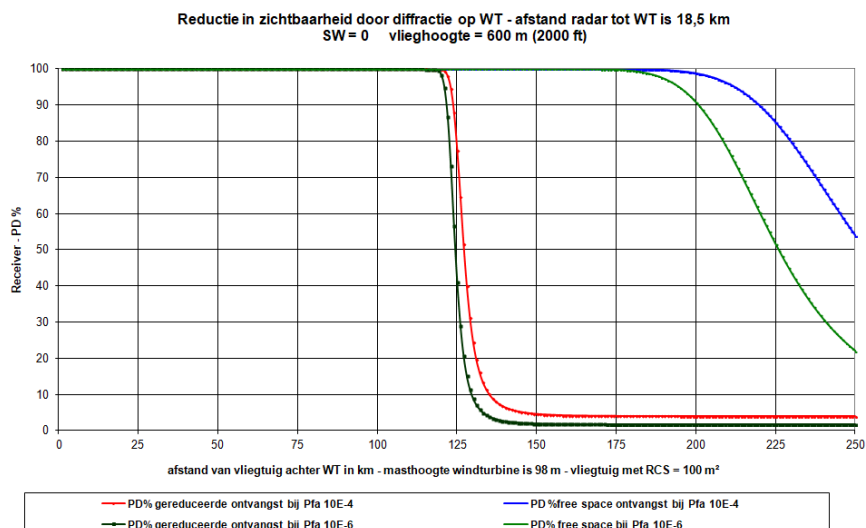
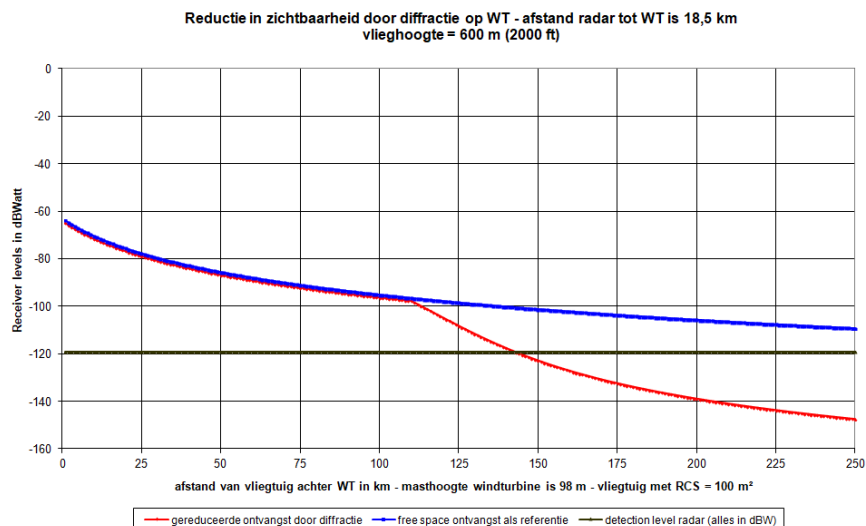


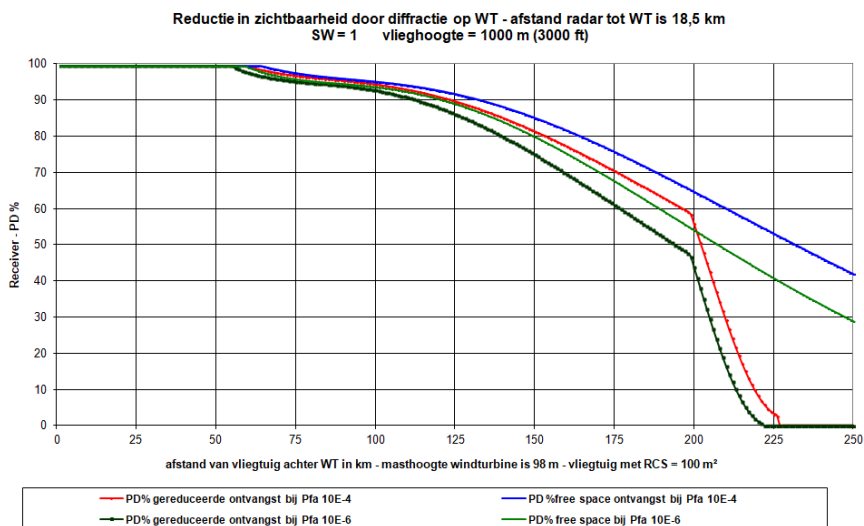
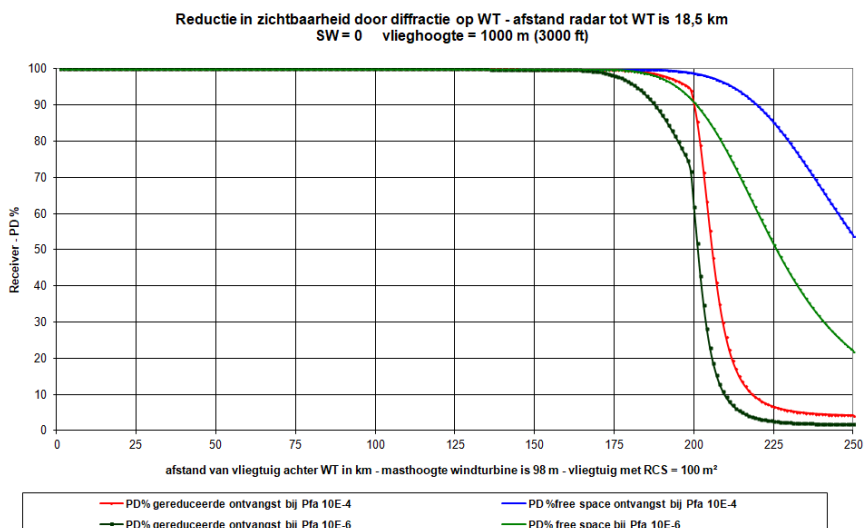
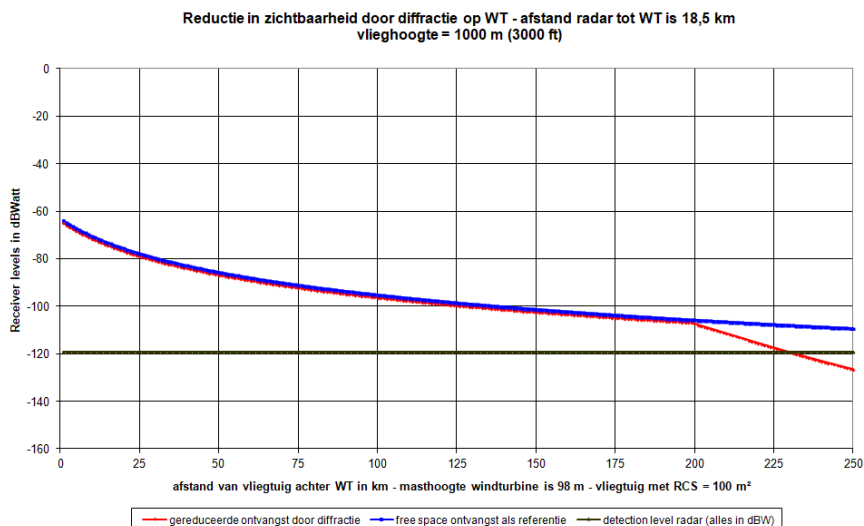
Annex 5.1. Verminderde zichtbaarheid PSR bij RCS = 100 m²

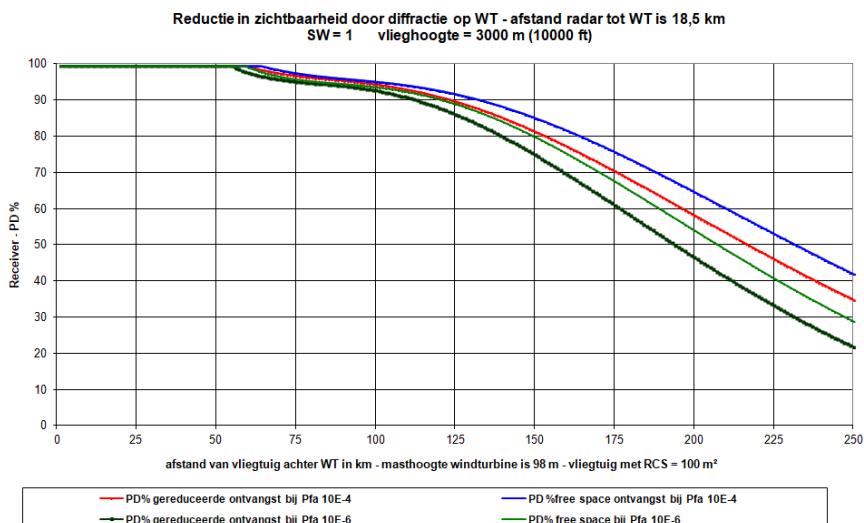
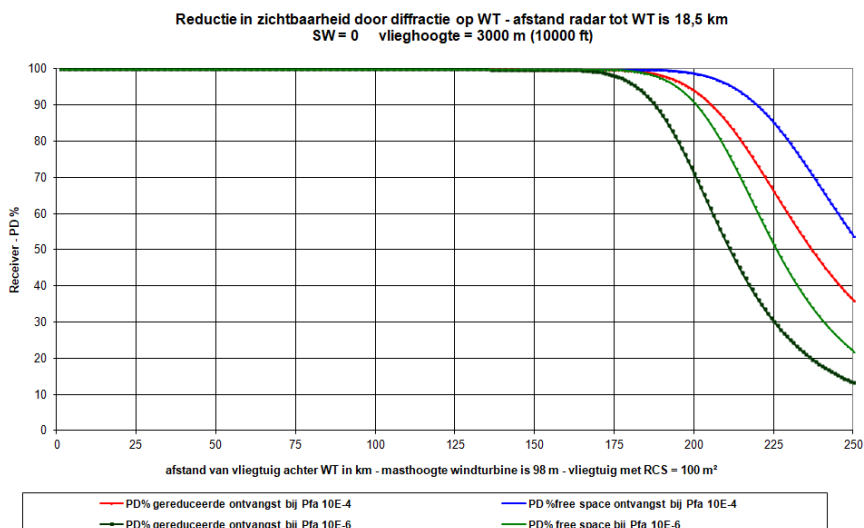
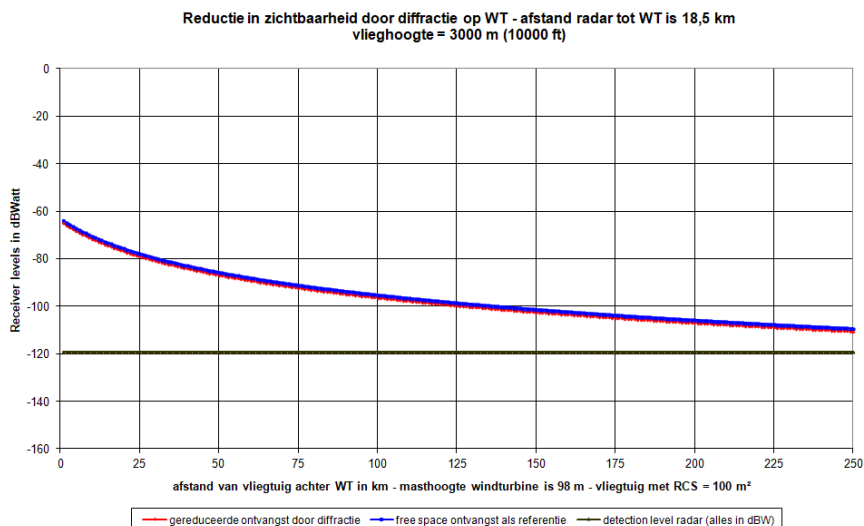
Bestaande situatie windturbines Volvo Trucks WT1/3

Masthoogte 98 m

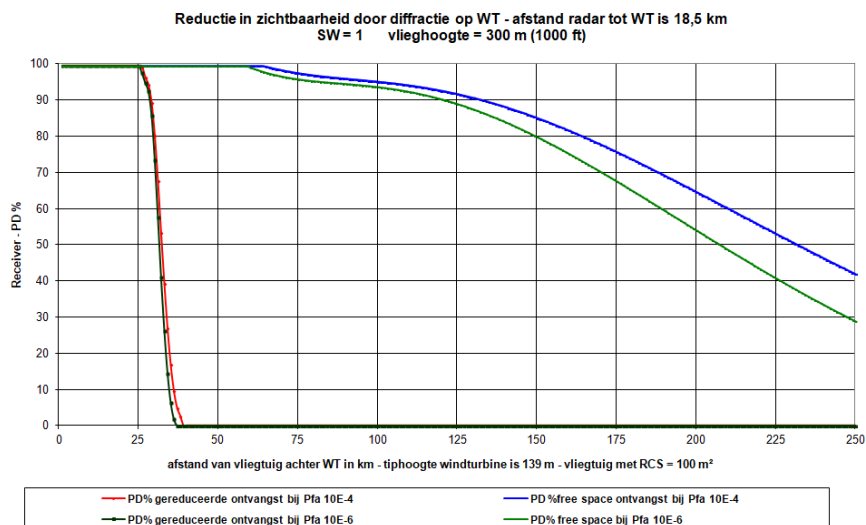
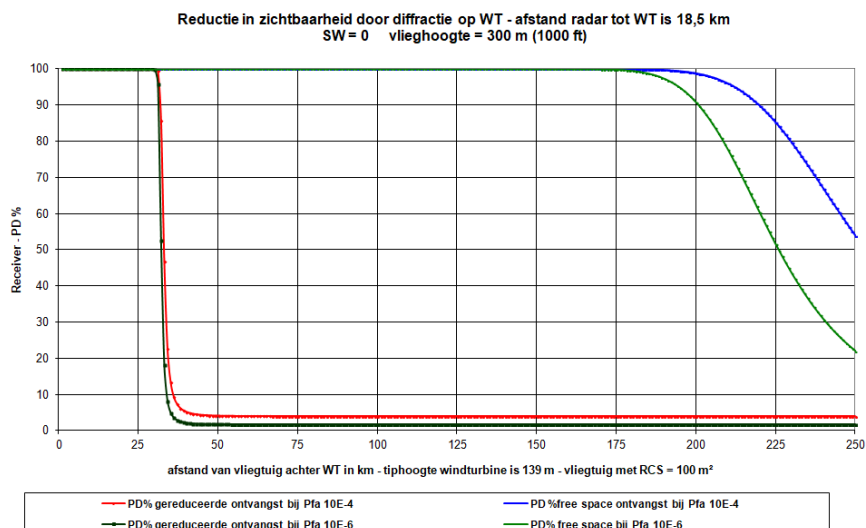
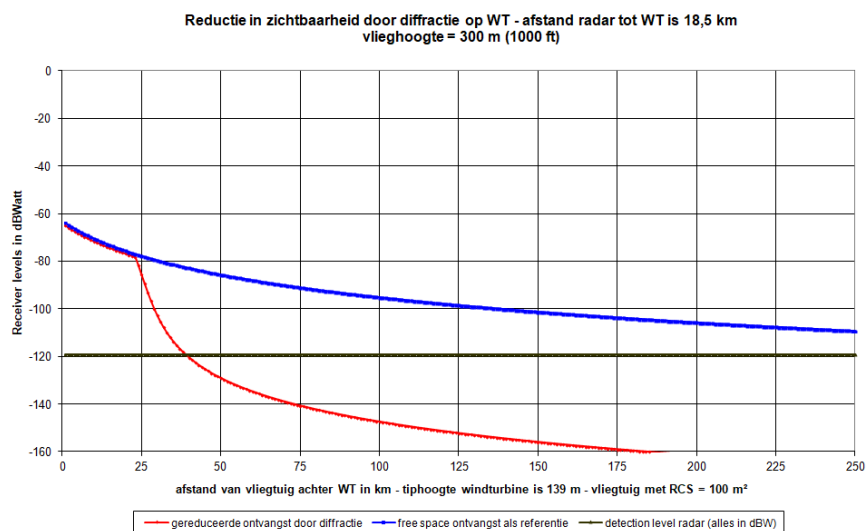


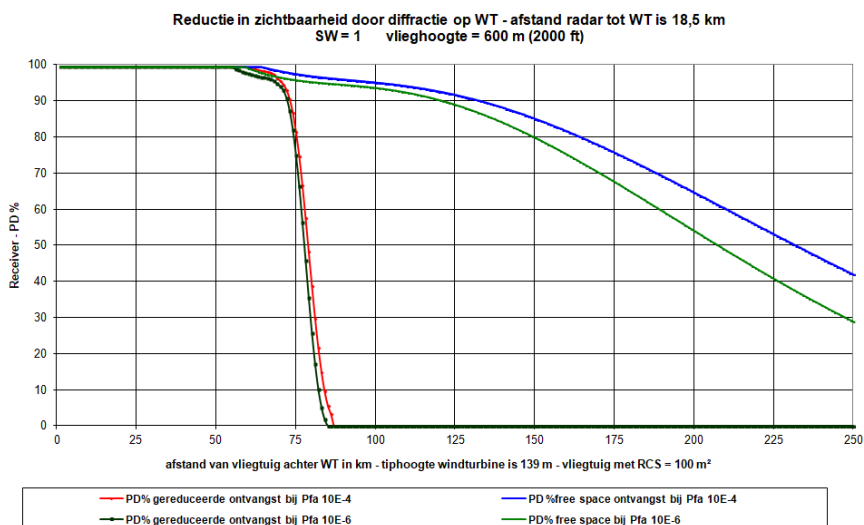
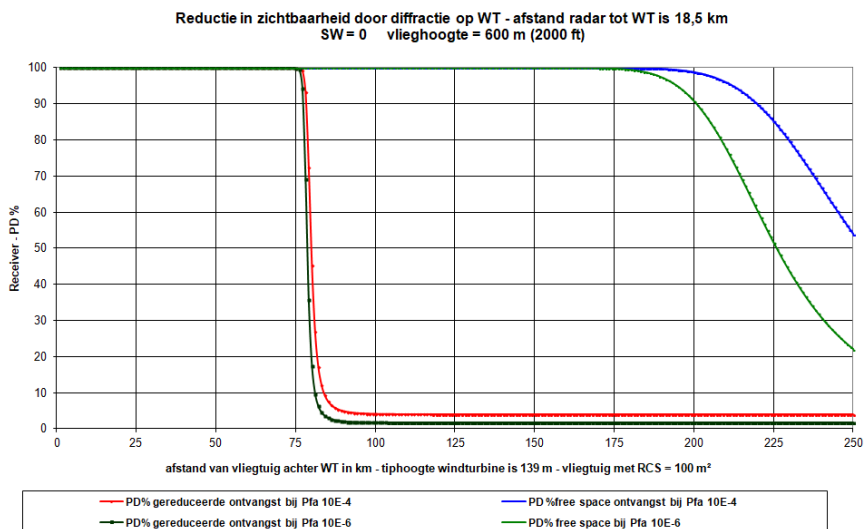
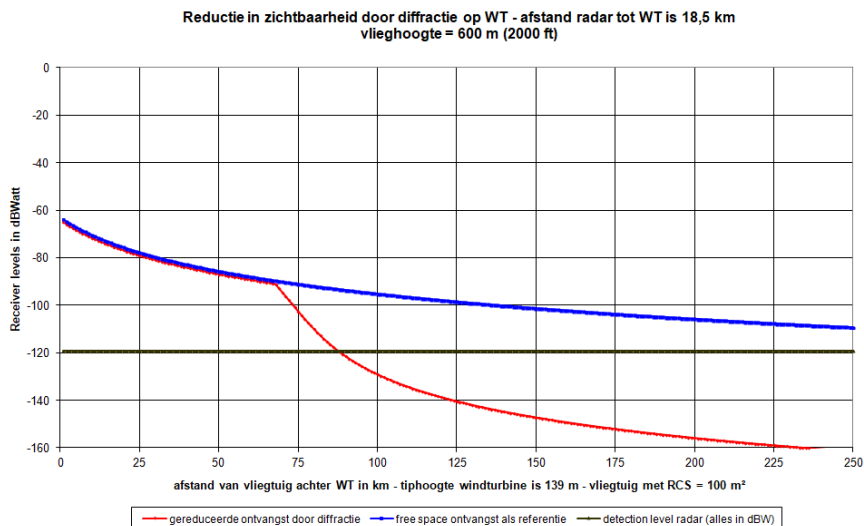


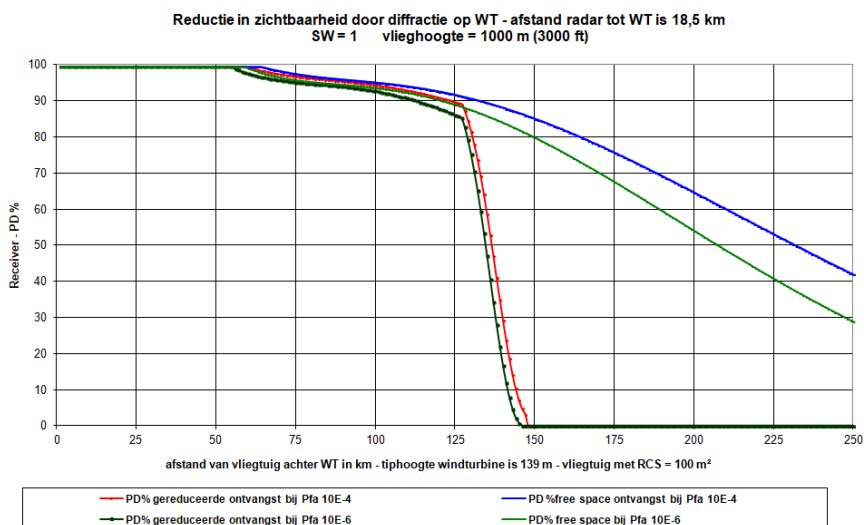
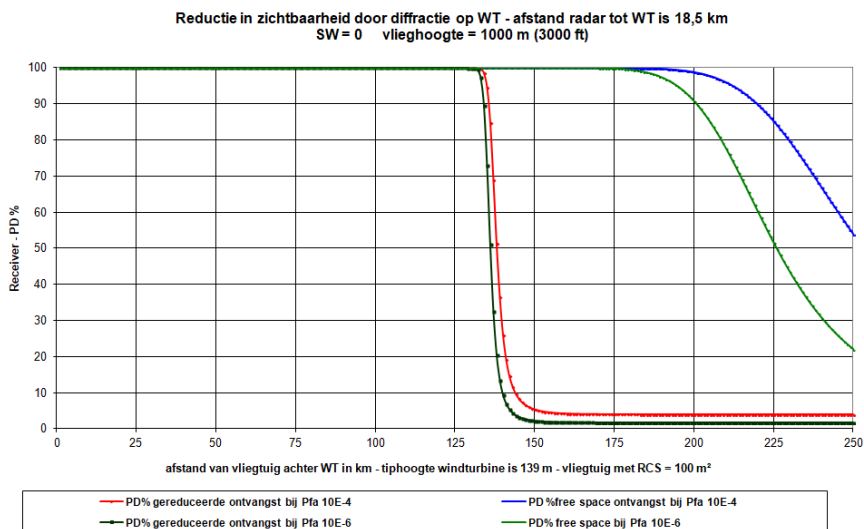
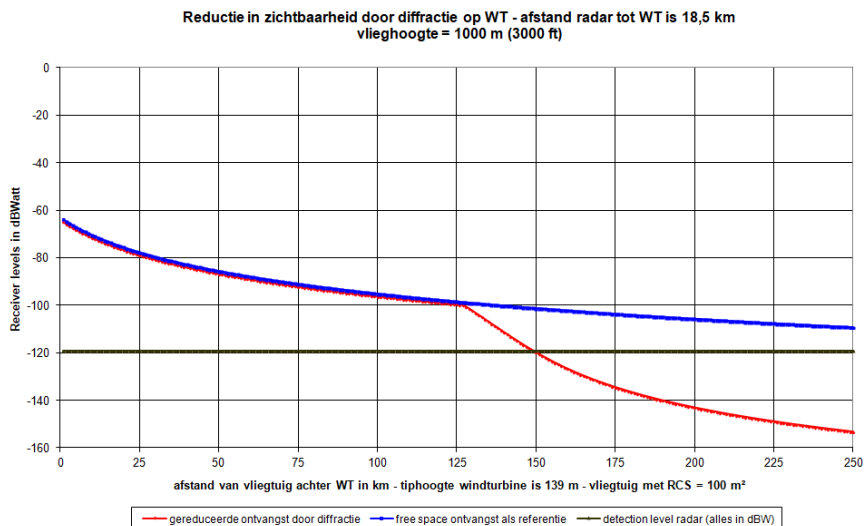


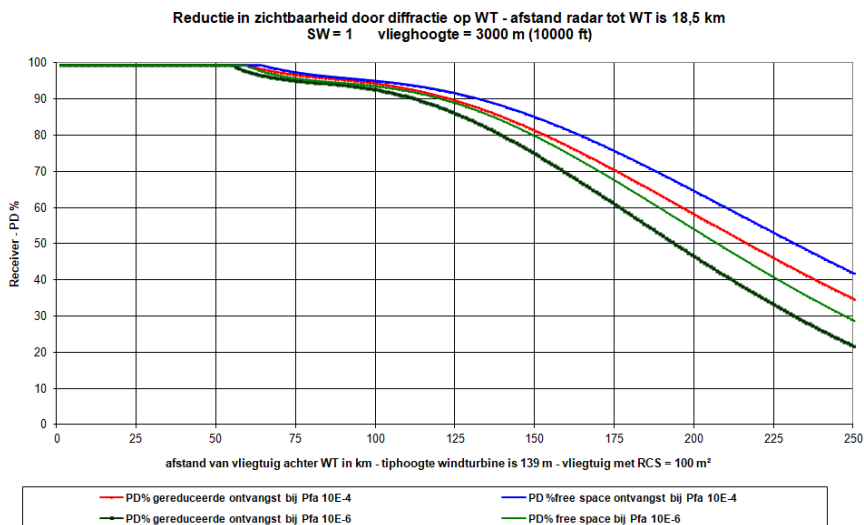
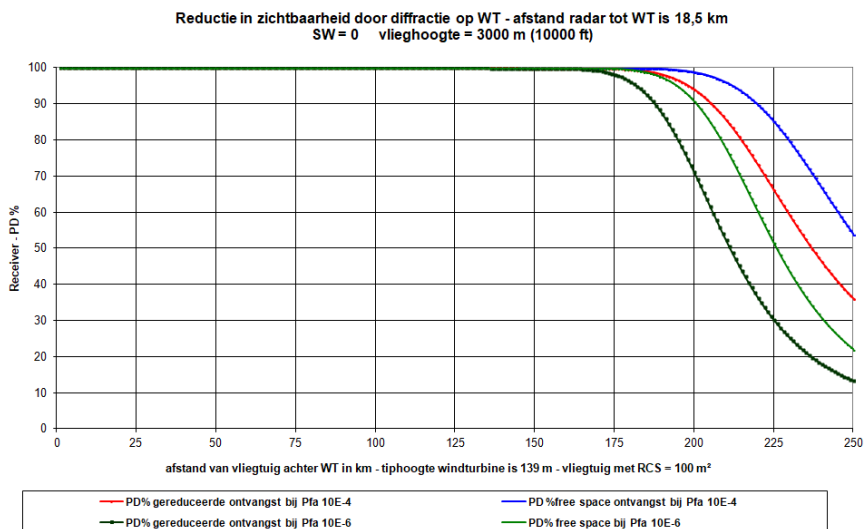
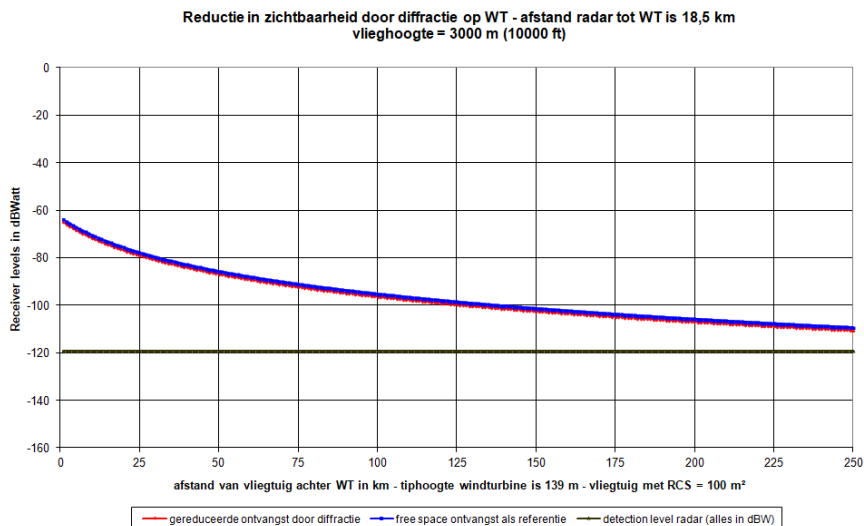


Tiphoogte 139 m



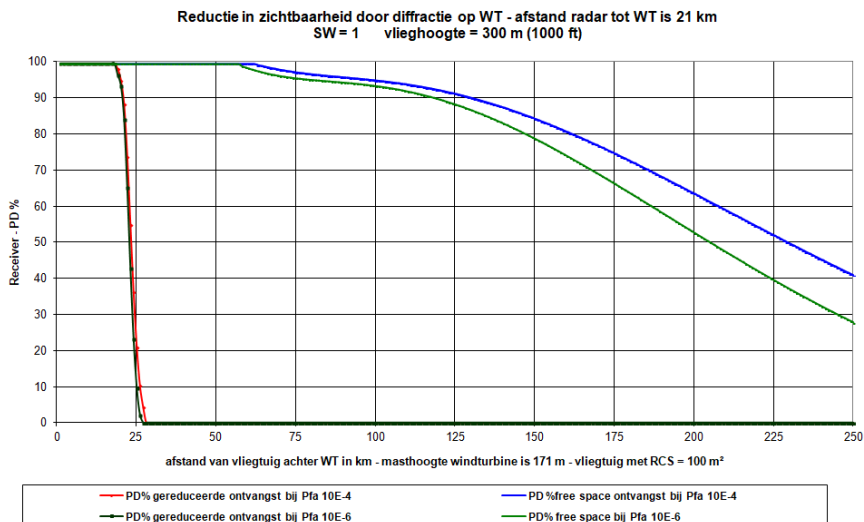
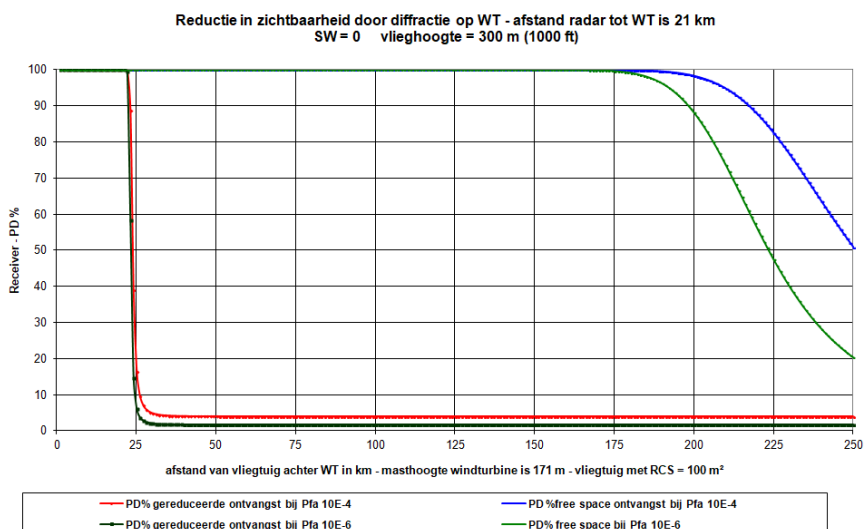
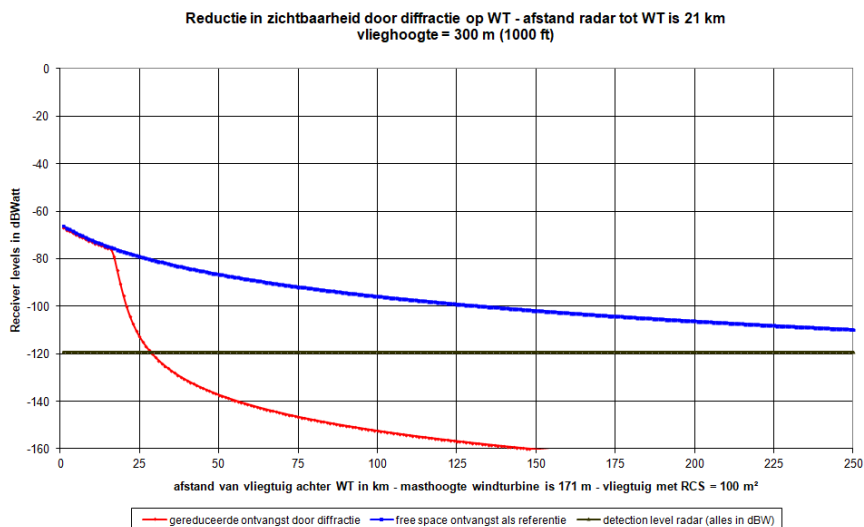


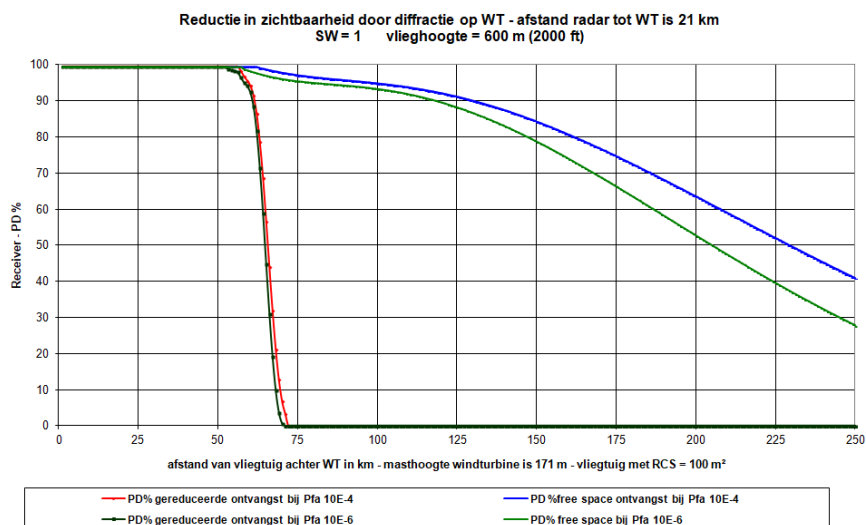
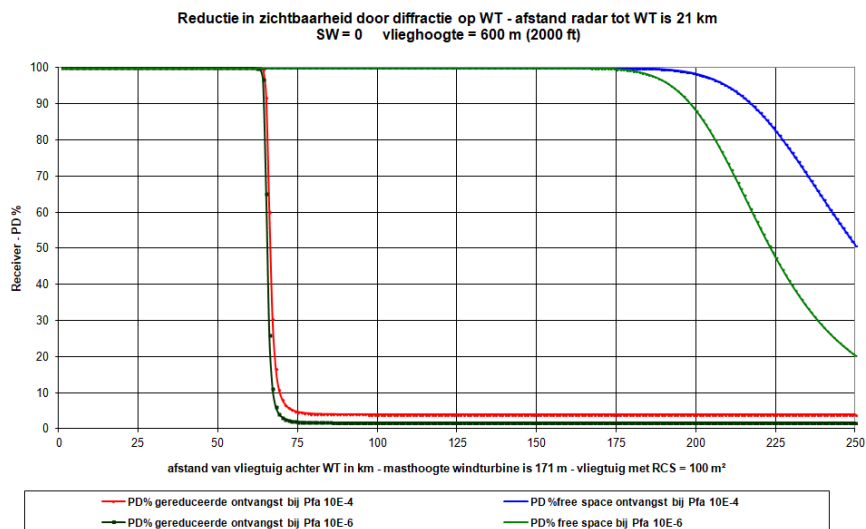
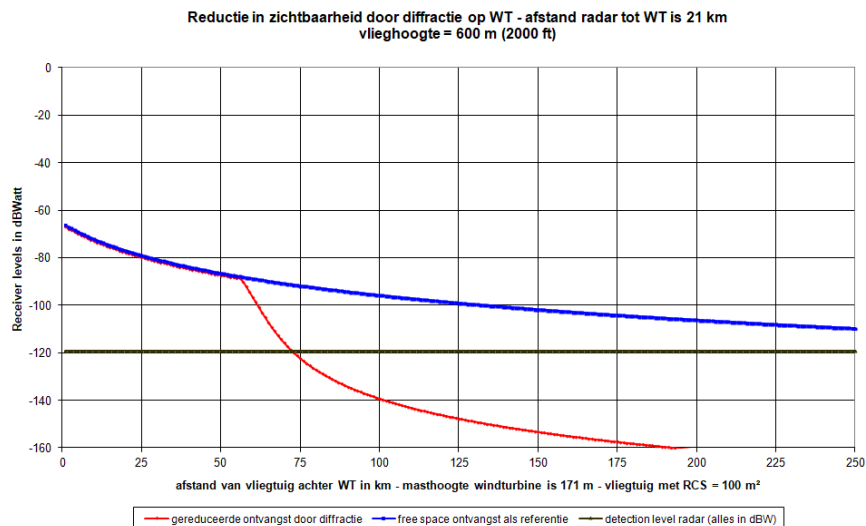


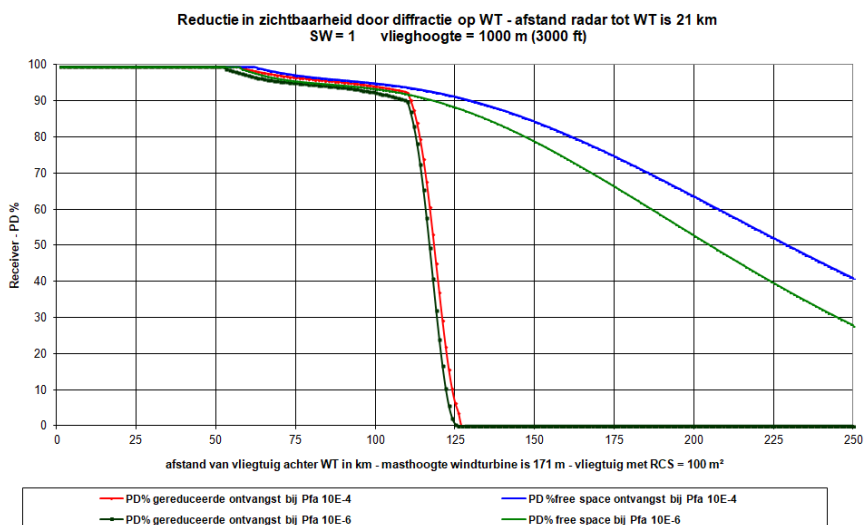
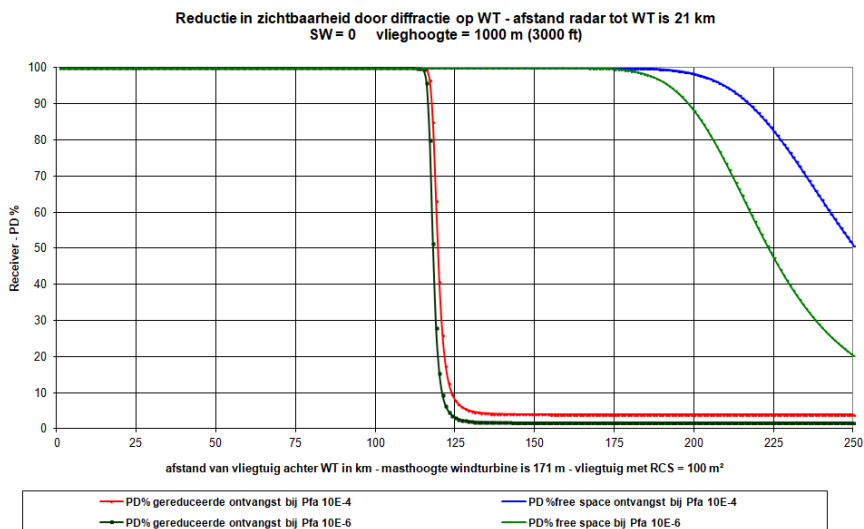
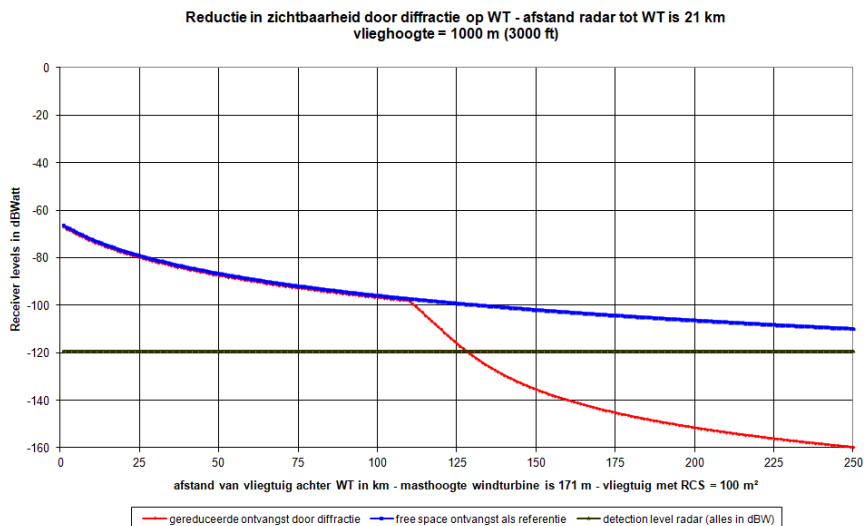


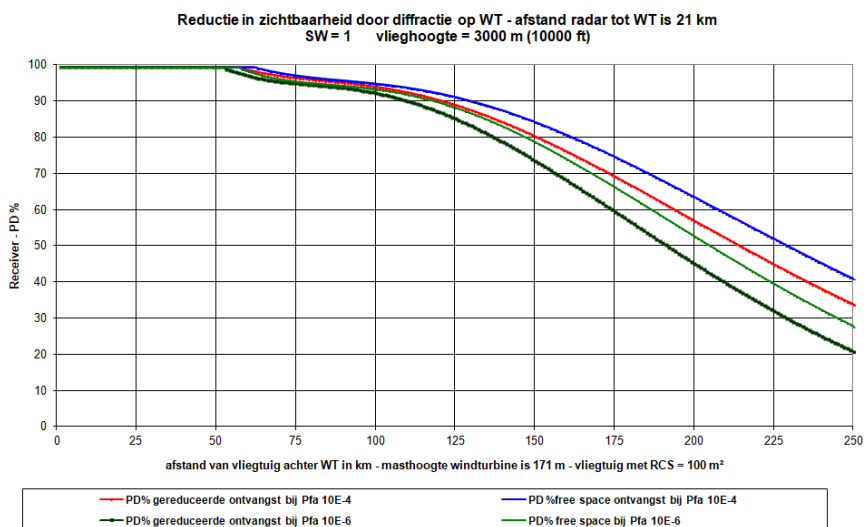
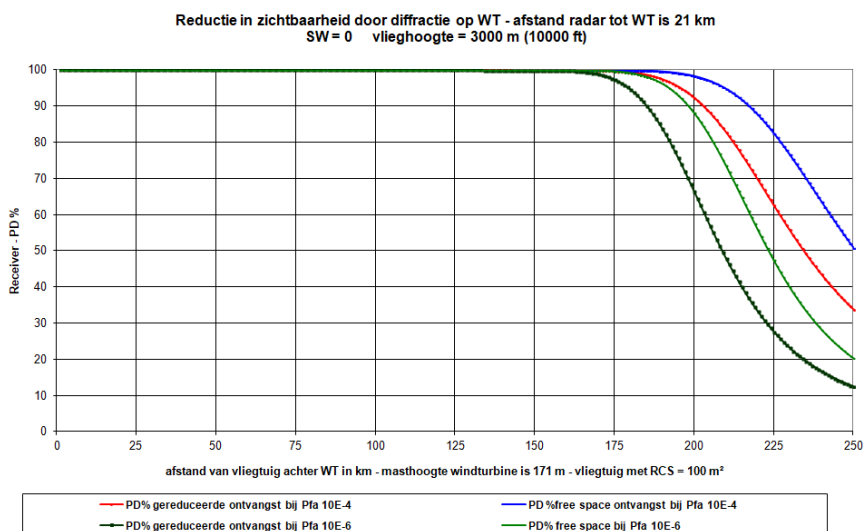
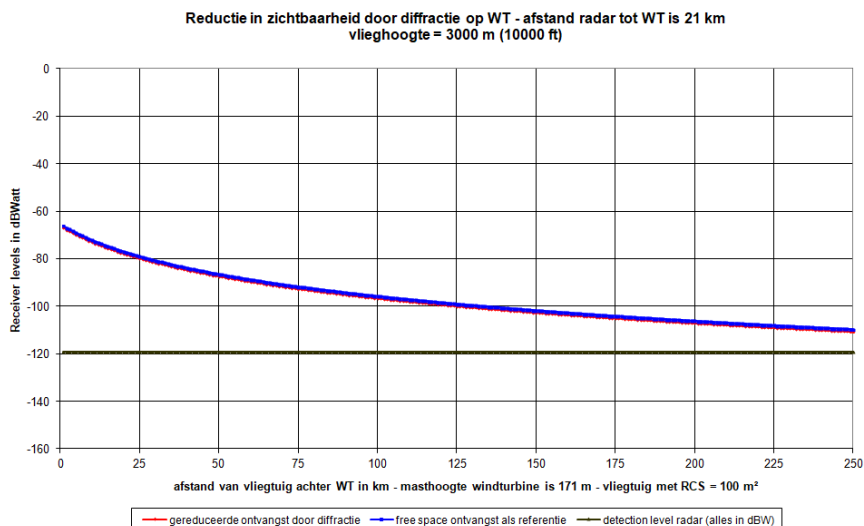
Situatie windturbines Skaldenpark SK1/4 in ontwikkeling

Masthoogte 171 m

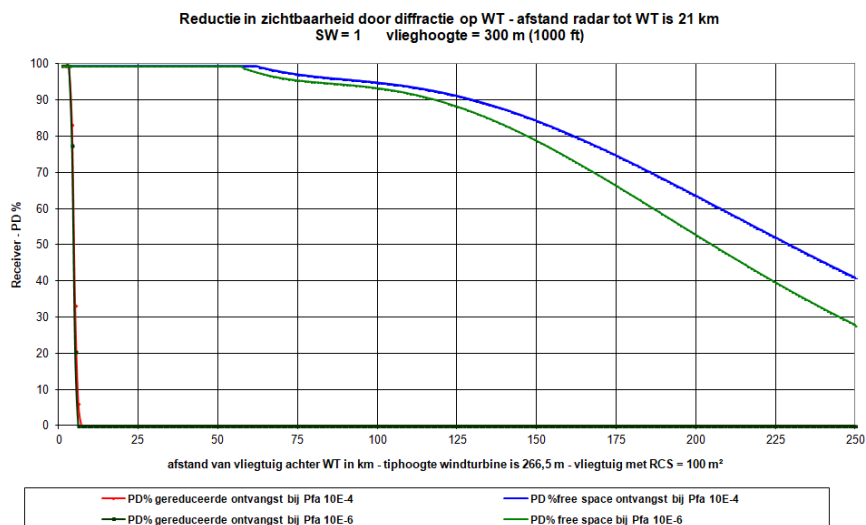
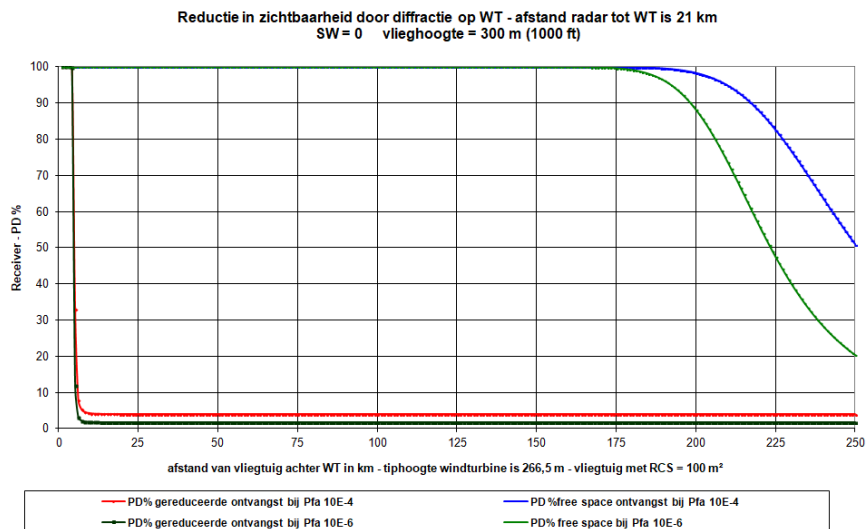
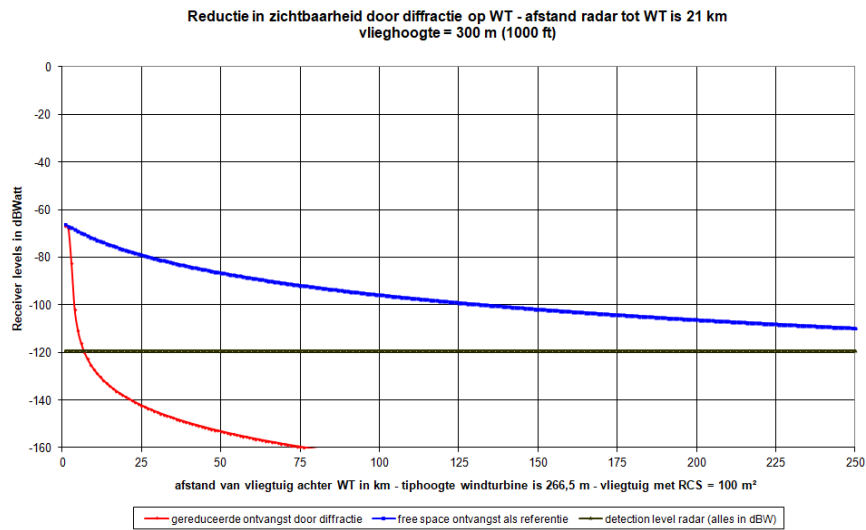


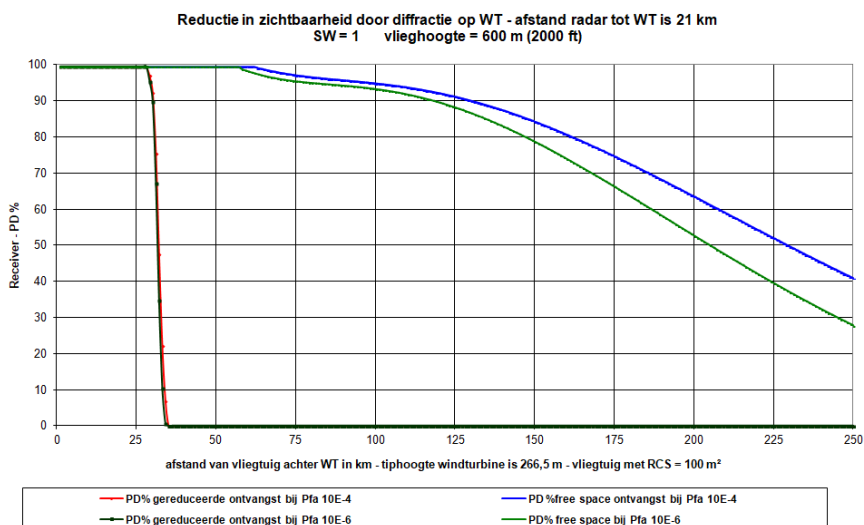
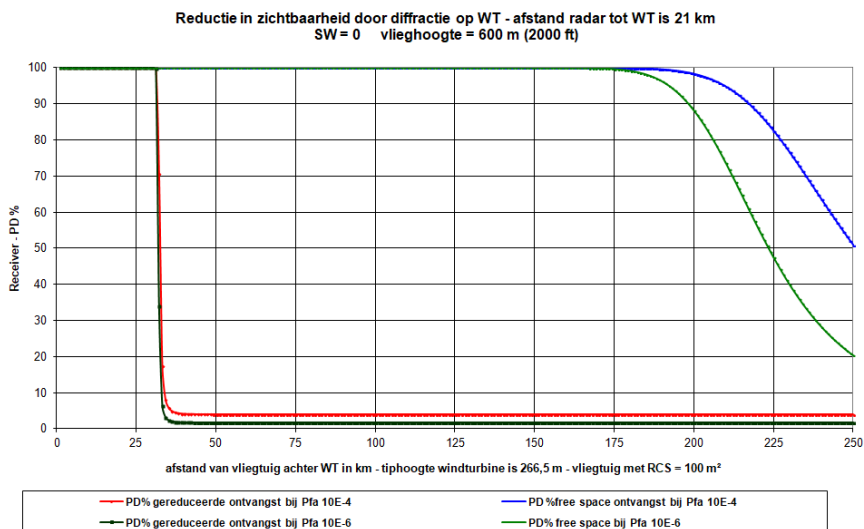
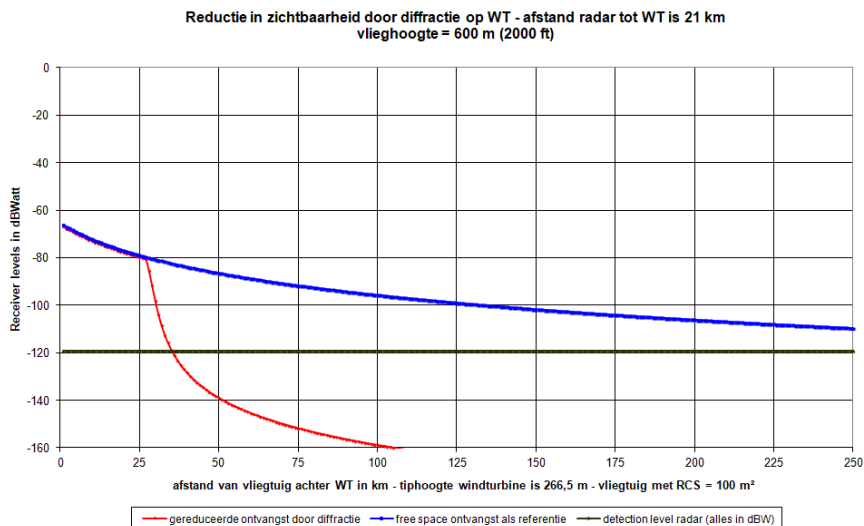


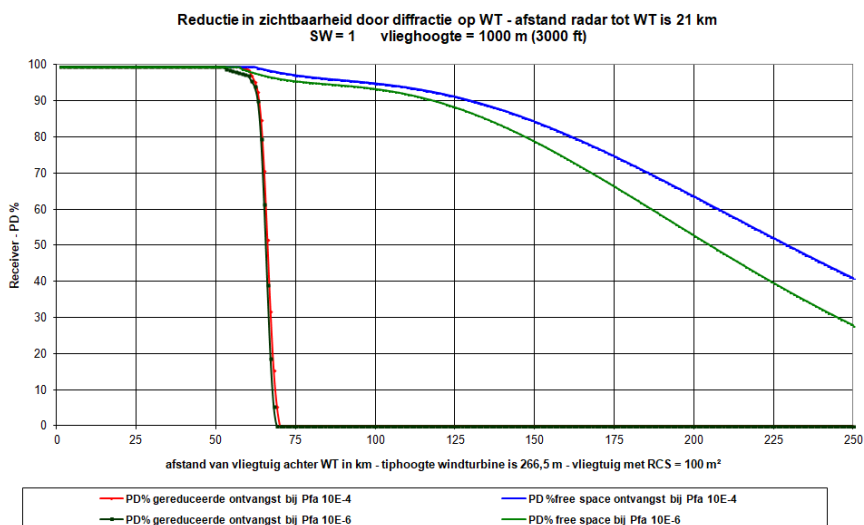
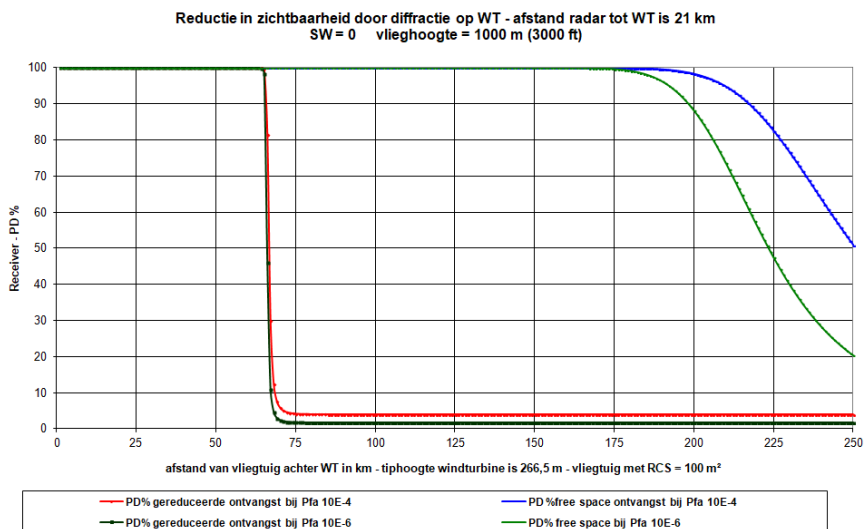
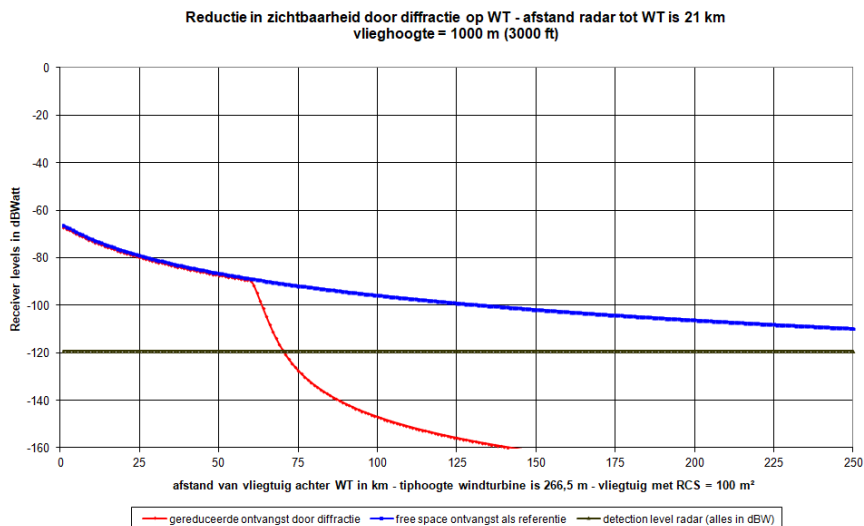


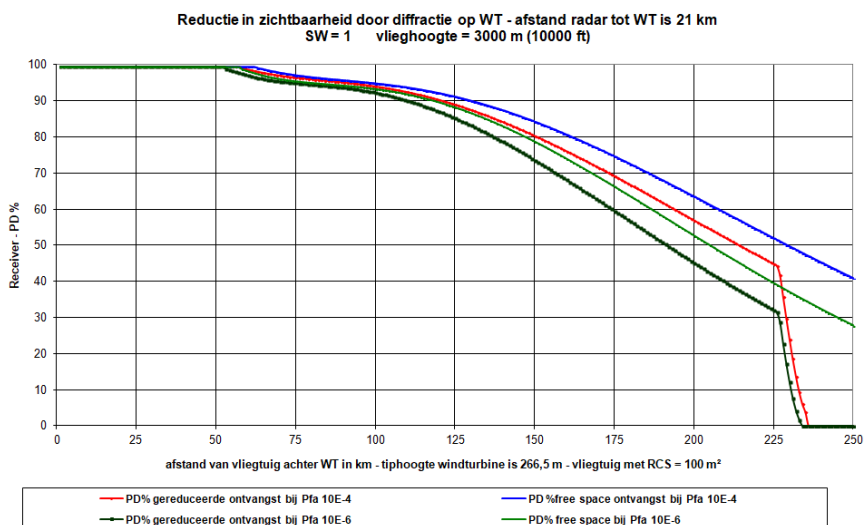
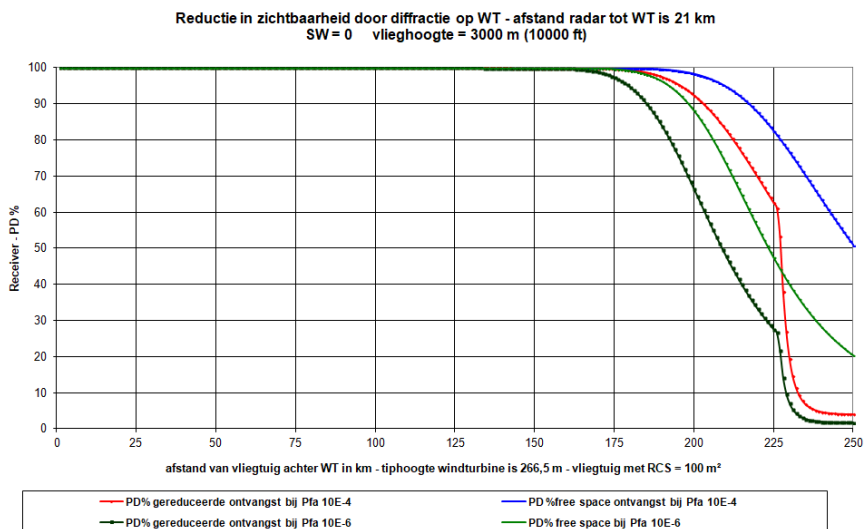
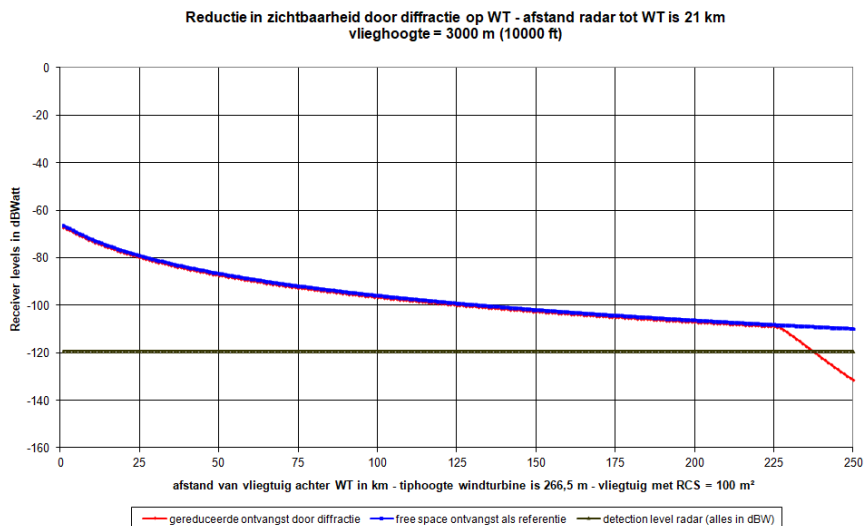


Tiphoogte 266,5 m







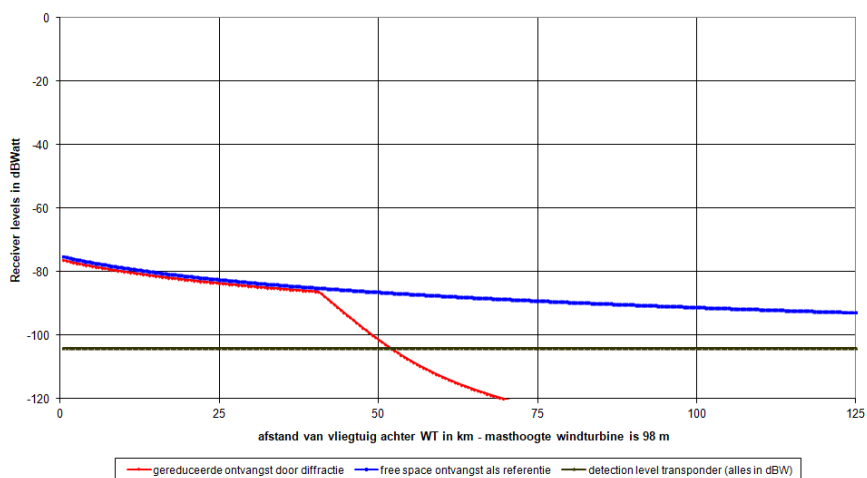


Annex 5.2. Verminderd ontvangstbereik SSR

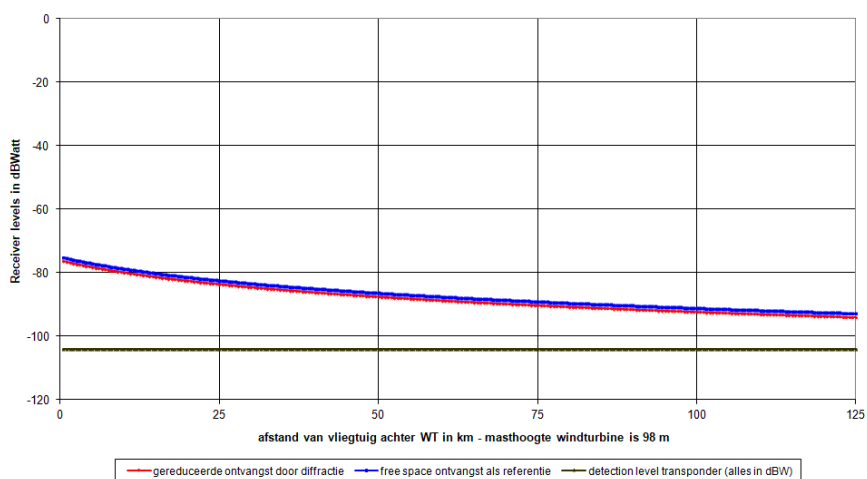
Bestaande situatie windturbines Volvo Trucks WT1/3

Masthoogte 98 m

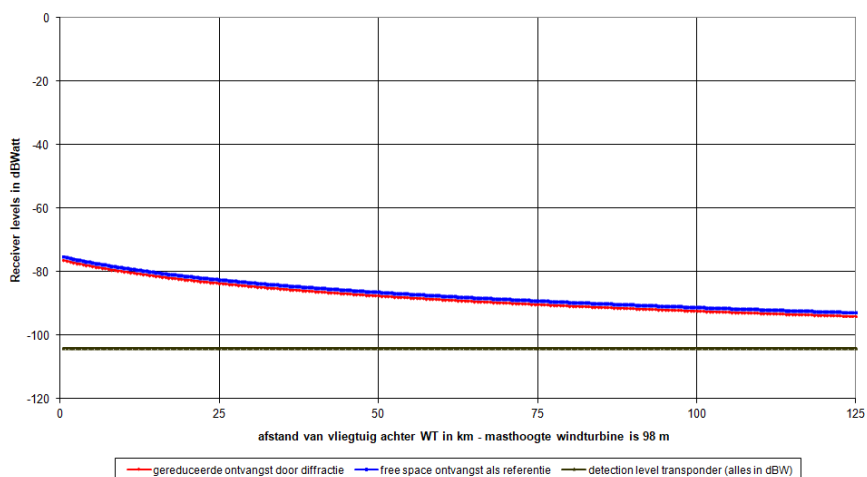
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

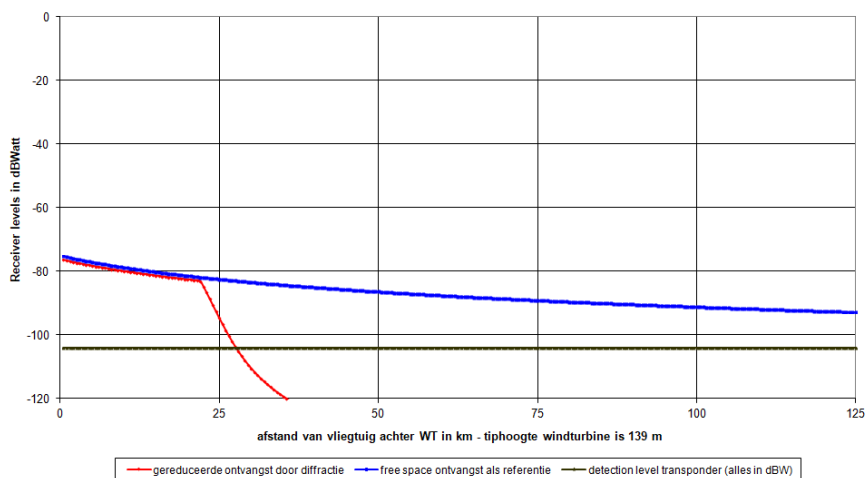


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

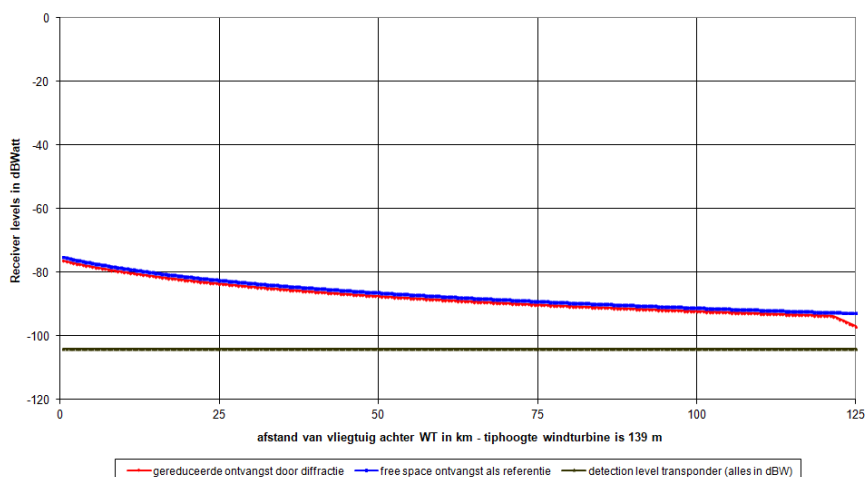


Tiphoogte 139 m

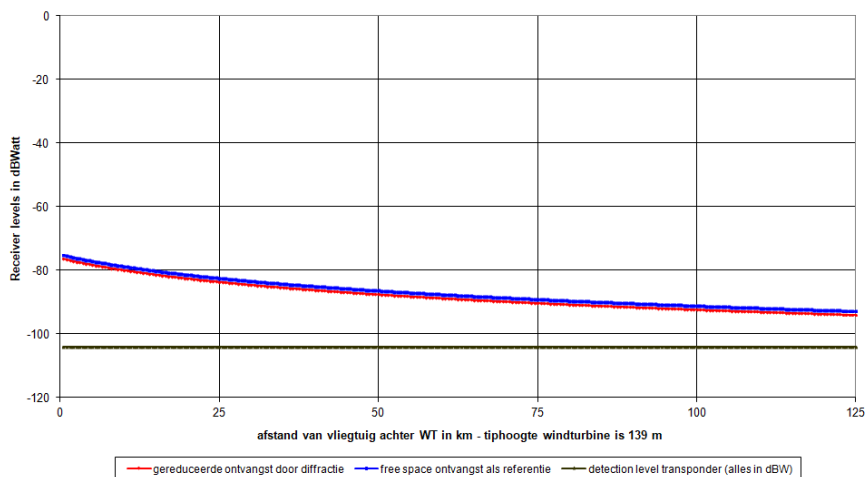
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



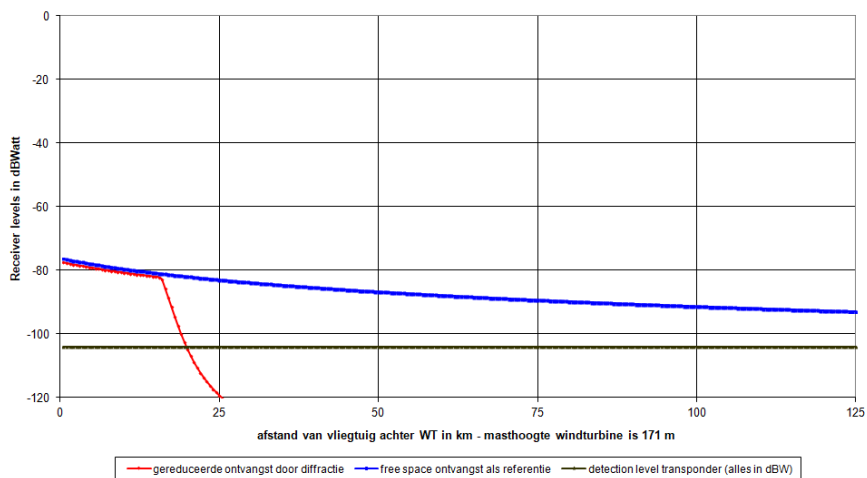
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 18,5 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



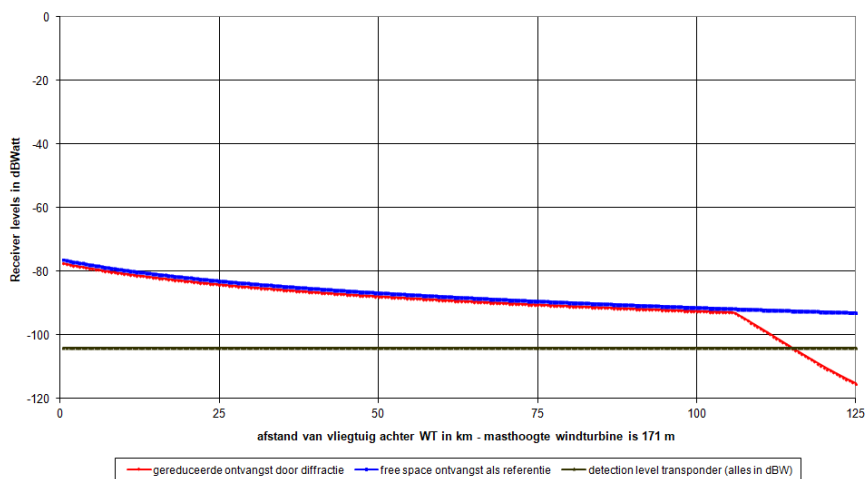
Situatie windturbines Skaldenpark SK1/4 in ontwikkeling

Masthoogte 171 m

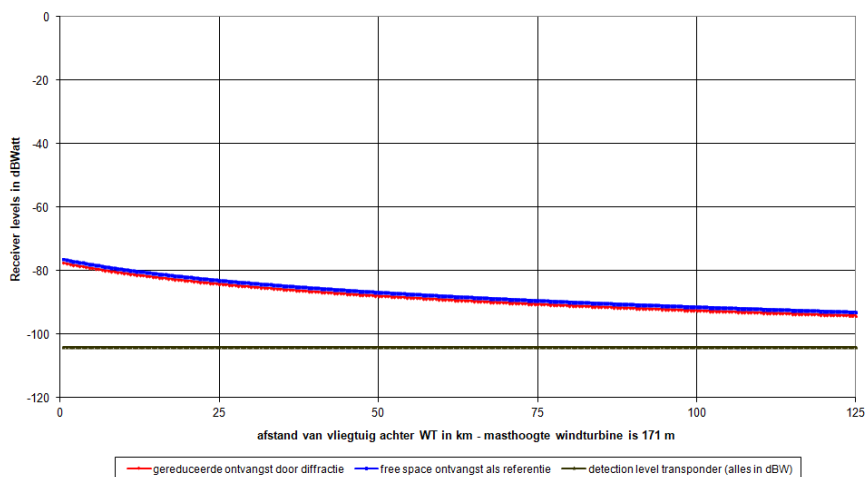
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)

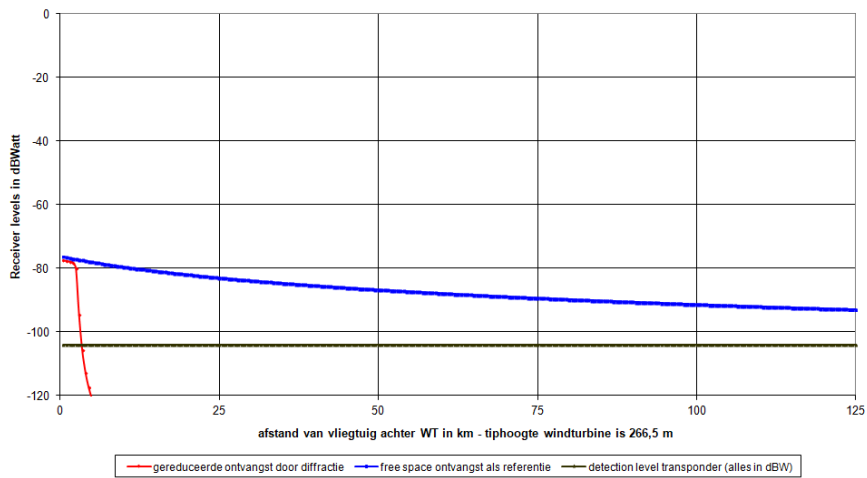


Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)

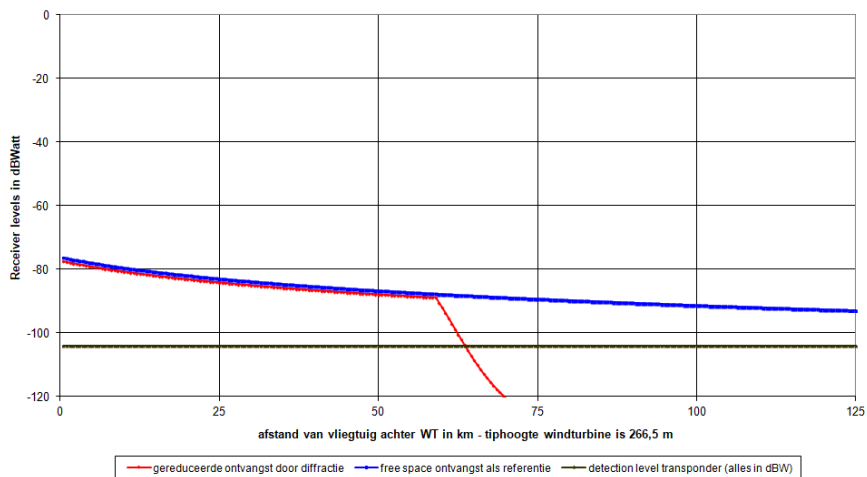


Tiphoogte 266,5 m

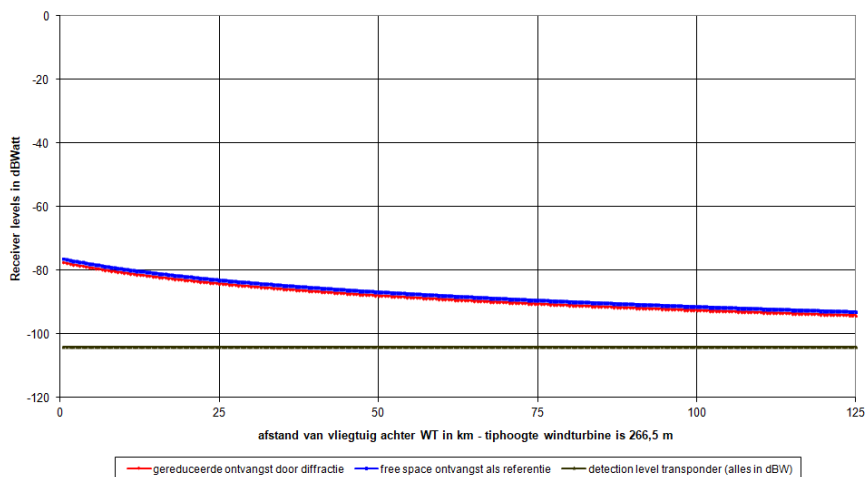
Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 300 m (1000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 1000 m (3000 ft)



Free space bereik van een SSR radar: groundstation naar transponder-uplink
afstand tot WT is 21 km - vlieghoogte = 3000 m (10000 ft)



Lijst van afkortingen

VHF	Very High Frequency en Ultra High Frequency, geven de frequentiebanden aan van radio communicatie.
UHF	
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 algoritme om de ruis/clutter gedeeltelijk uit het radarsignaal te verwijderen
SOCA	Small over cell average, een algoritme 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, Cassidian 2011, presented at the EUROCONTROL WTTF 2011 (October) workshop in Brussels
- Frye et al., WEA-radar Verträglichkeit (2008 2010) – Abschlussbericht, Cassidian/EADS, October 2011
- 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