Retouradres Postbus 96864, 2509 JG Den Haag

[redacted]

Technical Sciences
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

Datum
22 december 2015

Onze referentie
DHW-TS-2015-0100292766

E-mail
[redacted]

Doorkiesnummer
[redacted]

Doorkiesfax
[redacted]

Projectnummer
060.14014/21.01

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl. Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

Onderwerp
Radarverstoringsonderzoek Windpark Deil

Geachte heer [redacted]

Bijgaand ontvangt u onze rapportage aangaande het radarverstoringsonderzoek voor het windturbinepark Deil.

Het bouwplan
Het bouwplan betreft alle wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie die betrekking hebben op het te bouwen windturbinepark. In dit rapport zullen deze wijzigingen worden aangeduid als 'het bouwplan'. Voor de huidige aanvraag betreft dit een plaatsing van vier nieuwe windturbines. De coördinaten van de betreffende windturbines zijn verderop gegeven. Omdat in deze fase van de plannen nog geen definitieve keuze is gemaakt voor een type windturbine, ashoogte en rotordiameter, is voor een *worstcase* benadering gekozen. Voor de maximale afmetingen van de windturbines is uitgegaan van een windturbine in de 4 MW klasse met *worstcase* afmetingen met een ashoogte van 140 m en een rotordiameter van 131 m. De toepassing van een windturbine met worst case afmetingen houdt in dat de berekende effecten op de radars altijd minder zullen zijn als bij de keuze van de specifieke windturbine de vermogensklasse, maximale ashoogte en rotordiameter niet wordt overschreden.

De uitgevoerde berekeningen
TNO heeft de verstoring op de primaire radar als gevolg van radarreflectie en schaduweffect berekend met behulp van het radarhinder simulatiemodel PERSEUS, volgens de toetsingsmethode, die op 1 oktober 2012 is ingevoerd.
De analyse is uitgevoerd voor een tweetal radarsystemen:
(1) Het Military Approach Surveillance System (MASS) radarnetwerk, bestaande uit een vijftal verkeersleidingsradarsystemen verspreid over Nederland.
(2) De gevechtsleidingsradar Medium Power Radar (MPR) te Nieuw Milligen.

Resultaten verkeersleidingsradarsystemen MASS
Op de locatie van de windturbine eist het Ministerie van Defensie voor het verkeersleidingsradarnetwerk een minimale detectiekans van 90% voor een doel met een radaroppervlak van 2 m^2. Twee mogelijke optredende effecten zijn onderzocht:

1. Reductie van de detectiekans ter hoogte van het bouwplan:
   Na realisatie van het bouwplan is er op de toetsingshoogte van 1000 voet een minimale detectiekans geconstateerd van 98% ter hoogte en in de directe nabijheid van het bouwplan. Het bouwplan voldoet dus aan de thans gehanteerde 2015 norm.
2. Reductie van het maximum bereik ten gevolge van de schaduwwerking van het bouwplan:
   De radars te Soesterberg, Volkel en Woensdrecht ondersteunen elkaar in de schaduwgebieden achter het bouwplan. Na realisatie van het bouwplan is er op de toetsingshoogte van 1000 voet dan ook geen afname van het maximum bereik waarneembaar. Het bouwplan blijft daarmee binnen de thans gehanteerde 2015 norm.

Resultaten gevechtsleidingsradar MPR te Nieuw Milligen
Op de locatie van het windturbinepark eist het Ministerie van Defensie voor de gevechtsleidingsradar te Nieuw Milligen een detectiekans van minstens 90%. Omdat de specificaties van de MPR gerubriceerd zijn, wordt de in de berekening gebruikte waarde van het radaroppervlak van het doel hier niet vermeld.
De resultaten van de radarhinderberekening voor de gevechtsleidingsradar te Nieuw Milligen zijn eveneens gerubriceerd en kunnen om die reden alleen rechtstreeks naar het ministerie van Defensie worden verstuurd. Dit gebeurt echter pas na toestemming van u. Wel mag in deze brief worden vermeld dat er twee mogelijke optredende effecten zijn onderzocht:

1. Reductie van de detectiekans ter hoogte van het bouwplan:
   De detectiekans is na realisatie van het bouwplan op de toetsingshoogte van 1000 voet binnen de thans gehanteerde 2015 norm gebleven.
2. Reductie van de detectiekans ten gevolge van de schaduwwerking van het bouwplan:
   Het maximum bereik van de radar op deze hoogte in de sector waarin schaduwwerking optreedt, blijft is na realisatie van het bouwplan binnen de thans gehanteerde 2015 norm.

Details vindt u in bijgaande documentatie. Een vergelijkbare rapportage, echter met de resultaten van de MPR, wordt na toestemming uwerzijds eveneens verstuurd aan het Commando Luchtstrijdkrachten in Breda van Defensie en het Rijksvastgoedbedrijf Directie Vastgoedbeheer, Afdeling Expertise & Realisatie Defensie, Sectie Beheer & Omgevingsmanagement, Cluster Ruimte in Utrecht.

Voor de achtergronden van de toegepaste rekenmethode wordt kortheidshalve verwezen naar de toelichting die is te downloaden van de TNO website:
http://www.tno.nl/perseus.

Hoogachtend,

[redacted]

Senior Research Medewerker

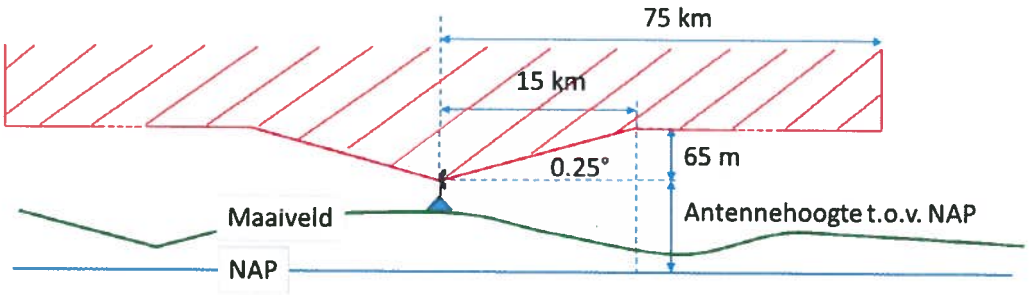
1 Locatie- en radargegevens

De locaties van de te toetsen windturbines zijn weergegeven in Tabel 1. De weergegeven RDS coördinaten en fundatiehoogtes zijn afkomstig van de opdrachtgever. De WGS 84 coördinaten zijn hiervan afgeleid.

Tabel 1 Locatiegegevens van het bouwplan zoals opgegeven door de opdrachtgever.

Nr.	ID	Rijksdriehoekstelsel		WGS 84 coördinaten		Fundatiehoogte
		X [m]	Y [m]	Latitude [°]	Longitude [°]	t.o.v. NAP [m]
1	WT1	143767	429568	51.85457	5.22416	3.0
2	WT2	143439	429405	51.85309	5.21940	3.0
3	WT3	143111	429241	51.85161	5.21465	3.0
4	WT4	142784	429076	51.85012	5.20991	3.0
5	WT5	142431	428974	51.84920	5.20479	3.0
6	WT6	142056	428863	51.84819	5.19935	3.0
7	WT7	146055	429604	51.85493	5.25737	3.0
8	WT8	145656	429639	51.85524	5.25158	3.0
9	WT9	145258	429675	51.85556	5.24580	3.0
10	WT10	144860	429711	51.85587	5.24002	3.0
11	WT11	144461	429746	51.85618	5.23423	3.0

Het Ministerie van Defensie hanteert een zogenaamd toetsingsvolume dat reikt tot aan 75 km rondom de vijf verkeersleidingsradars en de twee gevechtsleidingsradars. Het profiel van het toetsingsvolume is weergegeven in Figuur 1. Er dient getoetst te worden indien de tip van de wiek hoger is dan de rode lijn. Bouwplannen die verder verwijderd zijn dan 75 km kunnen zondermeer geplaatst worden.



Figuur 1. Het toetsingsprofiel (niet op schaal) zoals gehanteerd door het Ministerie van Defensie rondom elk van de militaire radarsystemen.

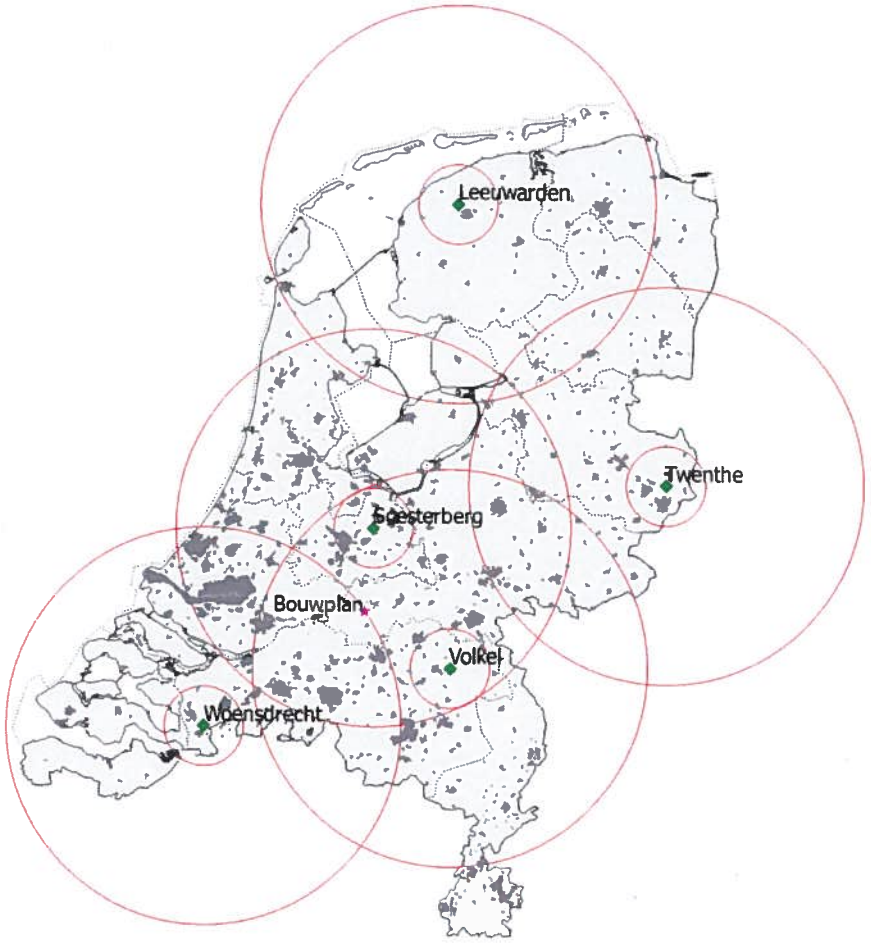
De locatiegegevens van de vijf MASS verkeersleidingsradarsystemen en de gevechtsleidingsradars te Nieuw Milligen en Wier worden weergegeven in Tabel 2. In deze tabel zijn zowel de antennehoogtes aangegeven die aangehouden worden voor de bepaling van het toetsingsprofiel als ook de feitelijke antennehoogtes van de primaire radarantenne, toegepast in de detectiekansberekeningen.

Tabel 2 *Locatiegegevens van de vijf MASS radars en de gevechtsleidingsradars te Nieuw Milligen en Wier, de aangehouden antennehoogte voor het toetsingsprofiel en de toepaste feitelijke hoogte van de primaire radarantenne.*

Radar	Coördinaten Rijksdriehoekstelsel		Antennehoogte toetsingsprofiel t.o.v. NAP	Feitelijke antennehoogte t.o.v. NAP
	X [m]	Y [m]	[m]	[m]
Leeuwarden	179139	582794	30	27.3
Twenthe	258306	477021	71	68.8
Soesterberg	147393	460816	63	60.2
Volkel	176525	407965	49	46.9
Woensdrecht	083081	385868	48	45.2
Nieuw Milligen (MPR)	179258	471774	53	Gerubriceerd*
Wier (MPR)	170509	585730	24	Gerubriceerd*

* *deze gegevens zijn bekend bij defensie*

Variaties in de hoogte van het terrein worden bepaald uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN-1) met een ruimtelijke resolutie van 10 m. In dit bestand bevindt zich bebouwing van de stedelijke gebieden mits de aaneengesloten bebouwing een oppervlakte beslaat die groter is dan 1 km^2. Het hoogtebestand is opgenomen in de periode tussen 1998 en 2003, dus veranderingen in bebouwing van na die datum zijn in het model niet meegenomen. Buiten deze gebieden is de hoogte gelijk aan het maaiveld. Buiten Nederland gebruikt TNO terreinhoogtegegevens afkomstig van de NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) met een resolutie van 3 boogseconde (ongeveer 90 m langs een meridiaan).
De 15 en 75 km cirkels rond de MASS radarsystemen en de stedelijke gebieden volgens het AHN-1 bestand zijn weergeven in Figuur 2. De 15 en 75 km cirkels rond de MPR gevechtsleidingsradars en de stedelijke gebieden volgens het AHN-1 bestand zijn weergeven in Figuur 3.



Figuur 2. Locaties van de vijf MASS verkeersleidingsradarsystemen (groene ruit) met daaromheen de 15 en 75 km cirkels. De donkergrijze vlakken zijn de in de AHN-1 gedefinieerde stedelijke gebieden. De ligging van het te toetsen bouwplan is aangegeven met een roze ster.

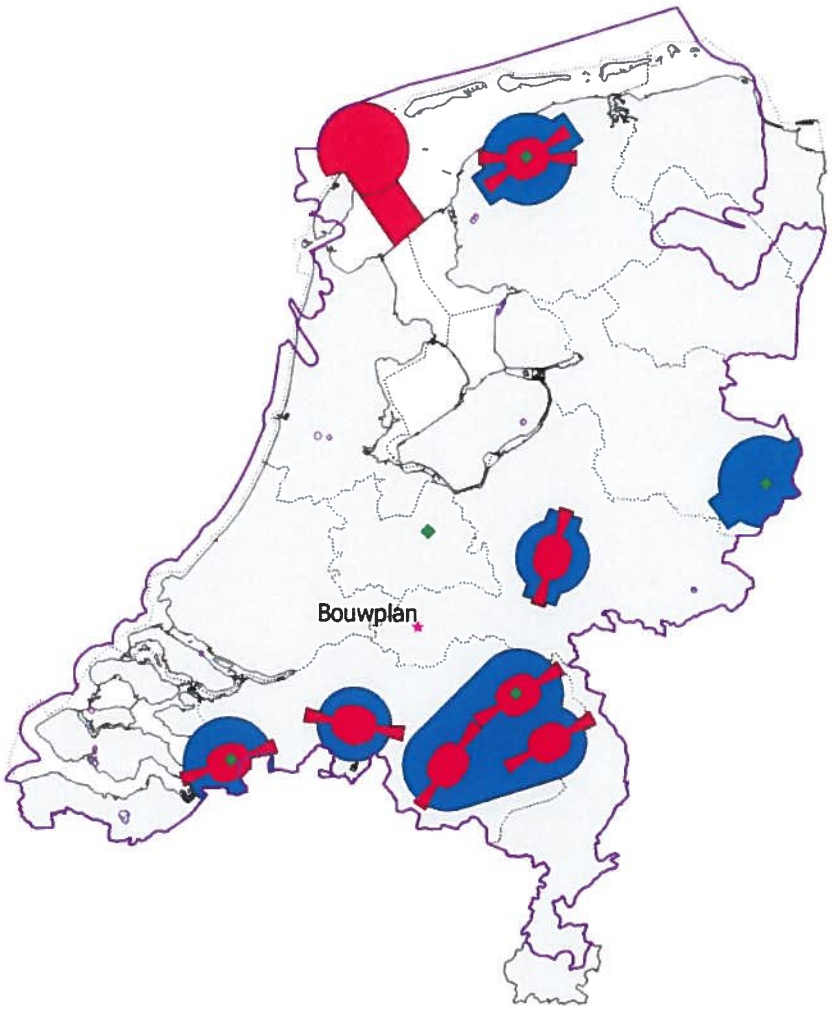


Figuur 3. Locaties van de twee MPR gevechtsleidingsradars (rode ruit) met daaromheen de 15 en 75 km cirkels. De donkergrijze vlakken zijn de in de AHN-1 gedefinieerde stedelijke gebieden. De ligging van het te toetsen bouwplan is aangegeven met een roze ster.

Het bouwplan ligt binnen de 75 km cirkel rond de MASS radar van Soesterberg, Volkel en Woensdrecht en binnen de 75 km cirkel rond de MPR te Nieuw Milligen. Daarnaast zijn de tiphoogtes van alle te toetsen windturbines groter dan de in Figuur 1 aangegeven hoogte. Het onderhavige bouwplan dient derhalve getoetst te worden voor zowel het MASS verkeersleidingsradarnetwerk als de MPR gevechtsleidingsradar te Nieuw Milligen.

2 Rekenmethode MASS verkeersleidingsradarnetwerk

Het radarsimulatiemodel PERSEUS berekent voor elk radarsysteem de detectiekans van een doel met een radardoorsnede van 2 m^2, fluctuatiestatistiek Swerling case 1, en loos alarmkans 1×10^{-6}. Afhankelijk van de locatie van het bouwplan moet de detectiekans geëvalueerd worden op een normhoogte van 300, 500 of 1000 voet ten opzichte van het maaiveld. Indien op 1000 voet geëvalueerd wordt, zal middeling van detectiekansen binnen een cirkel met een straal van 500 m toegepast worden. De 300 en 500 voet normhoogtes liggen over het algemeen rond de verschillende militaire vliegvelden in Nederland. Op een hoogte van 1000 voet dient er, met enige uitzonderingen, landelijke dekking te zijn. In Figuur 4 worden de normhoogtegebieden getoond.



Figuur 4. De ligging van het te toetsen bouwplan aangegeven met een ster en de ligging van de thans gehanteerde 2015 normhoogtes op 300 voet (rood) en 500 voet (blauw). Op 1000 voet (paars) dient het MASS radarnetwerk, op enkele uitzonderingen na, een landelijke dekking te hebben. Tevens zijn op deze kaart met een groene markering de locaties aangeven van het MASS verkeersleidingsradarnetwerk bestaande uit een vijftal radarsystemen.

Het bouwplan valt binnen de normhoogte van 1000 voet.

De detectiekans van de vijf radarsystemen te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel en Woensdrecht is conform de nieuwe rekenmethode gesimuleerd in één radarnetwerk, waarbij de radars elkaar eventueel ondersteuning kunnen bieden bij de detectie van radardoelen. Daarbij wordt rekening gehouden met de aanstaande upgrade van de MASS primaire radar, zoals TNO die op dit moment in PERSEUS gemodelleerd heeft.
Als referentie zijn ook de radardetectiekansdiagrammen berekend voor de zogenaamde baseline situatie, dat wil zeggen, rekening houdend met alle bestaande windturbines en dus voor realisatie van het bouwplan. Het baseline-bestand van windturbines geeft de situatie aan binnen Nederland, vastgelegd in het begin van januari 2015, door Windstats[1]. De voor de simulatie noodzakelijke afmetingen van de windturbines zijn afgeleid van de in dit bestand opgenomen gegevens, zijnde: fabrikant, opgewekt vermogen, ashoogte en rotordiameter.
Het bouwplan wordt daar vervolgens aan toegevoegd en voor beide situaties (baseline en baseline met bouwplan) worden detectiediagrammen berekend. Door een vergelijking van beide diagrammen kan het detectieverlies worden vastgesteld in de directe nabijheid van het bouwplan veroorzaakt door reflecties van het bouwplan en het eventuele verlies aan radarbereik ten gevolge van de schaduwwerking van het bouwplan.

[1] Voor meer informatie, zie http://www.windstats.nl/



3 Berekeningen radardetectiekans diagrammen

Gegevens windturbine

Voor de bepaling van de effecten op de radars is de *worst-case* windturbine genomen. TNO heeft deze windturbine met worst-case afmetingen gedefinieerd uit de reeks turbines die TNO thans in haar bestand heeft op basis van de door de opdrachtgever opgegeven opgewekt vermogen van 4 MW, een ashoogte van 140 m en een rotordiameter van 131 m. Bij toepassing van een specifieke windturbine met realistische afmetingen uit een zelfde of lagere vermogensklasse en waarbij de maximaal getoetste ashoogte en rotordiameter niet wordt overgeschreden, zullen de berekende effecten op de radars geringer zijn.

De lengte van de gondel is gedefinieerd als de afstand van de 'hub' tot aan de achterzijde van de gondel in het verlengde van de as. De hoogte en breedte van de gondel zijn gebaseerd op het effectieve oppervlak van de voor- en zijkant van de gondel en kunnen dus iets afwijken van de feitelijke afmetingen. De lengte van de wiek is gedefinieerd als de halve diameter van de rotor. De breedte van de wiek wordt afgeleid van het frontaal oppervlak van de wiek.

In Tabel 1 is de maatvoering weergeven van de te toetsen windturbine, noodzakelijk voor de juiste modellering.

Tabel 1 De afmetingen van de 4MW worst-case windturbine met een ashoogte van 140 m en een rotordiameter van 131 m.

Onderdeel	Afmeting [m]
Ashoogte*	140.0
Tiphoogte*	205.5
Breedte gondel	5.9
Lengte gondel	18.5
Hoogte gondel	8.8
Diameter mast onder	13.6
Diameter mast boven	4.1
Lengte mast	135.6
Lengte wiek*	65.5
Breedte wiek	3.8

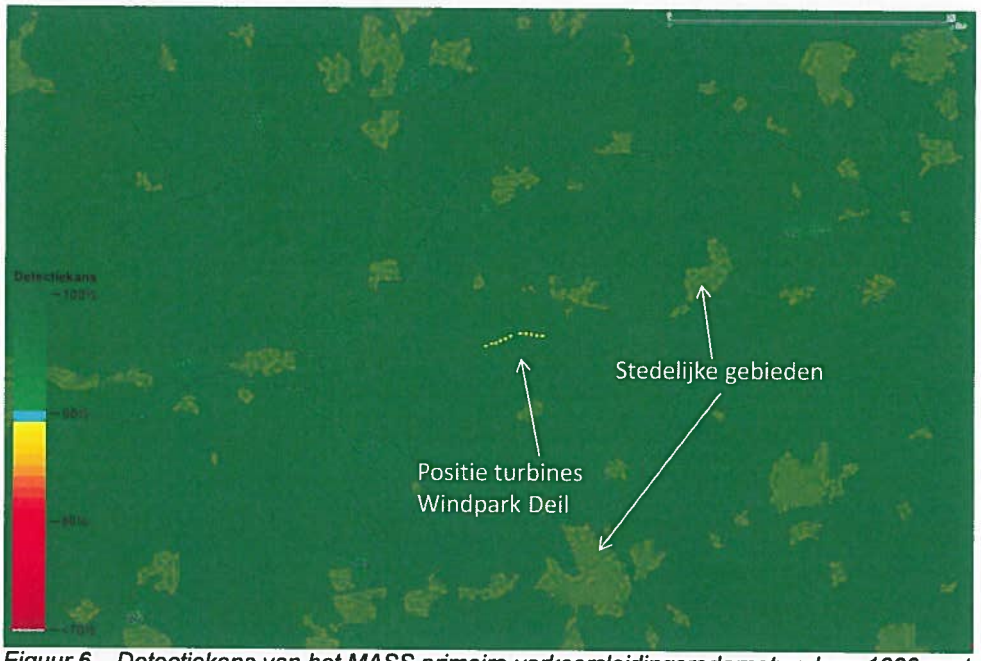
* Deze gegevens zijn gebaseerd op afmetingen opgegeven door de klant.

Detectiekans van het MASS primaire verkeersleidingsradarnetwerk in de directe nabijheid van het bouwplan

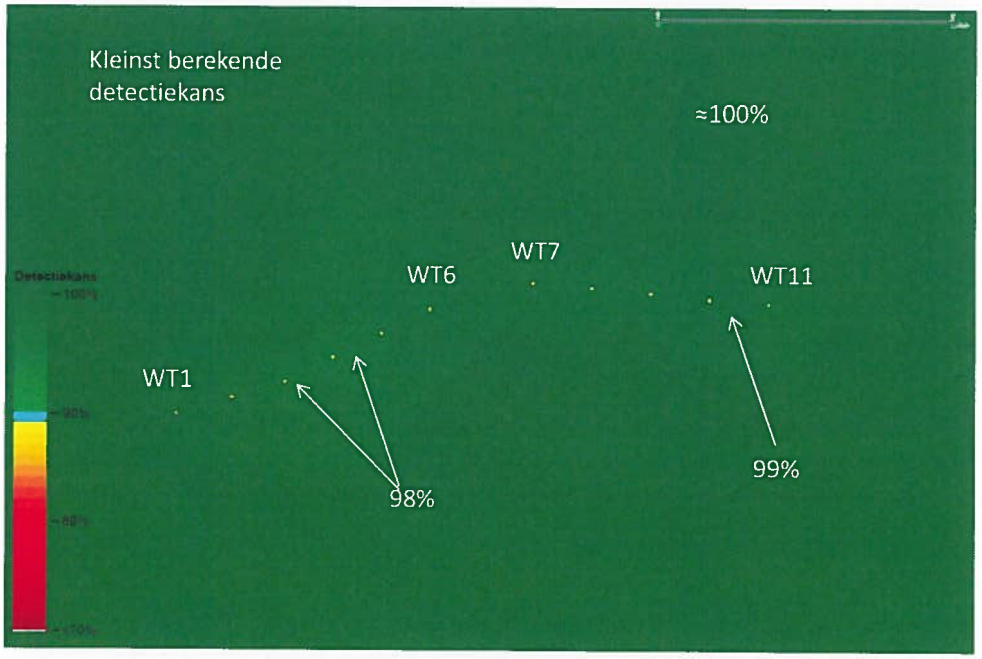
In Figuur 5 wordt de detectiekans van het MASS primaire verkeersleidings-radarnetwerk van de baseline op 1000 voet getoond rond het nog te realiseren bouwplan. Op deze resultaten is detectiekansmiddeling toegepast met een straal van 500 m. Figuur 6 toont de detectiekans voor hetzelfde gebied, na realisatie van het bouwplan. In Figuur 7 is het gebied vergroot weergegeven. De minimale detectiekans die door het Ministerie van Defensie wordt geëist bedraagt 90%. In groen gekleurde gebieden wordt aan deze eis voldaan. Ter hoogte van de locatie van het bouwplan en binnen het 1000 voet normgebied is er een detectiekans van 98% waarneembaar. Het bouwplan voldoet dus aan de thans gehanteerde 2015 norm.



Figuur 5 Detectiekans van het MASS primaire verkeersleidingsradarnetwerk op 1000 voet boven het bouwplan voordat dit is gerealiseerd (baseline).



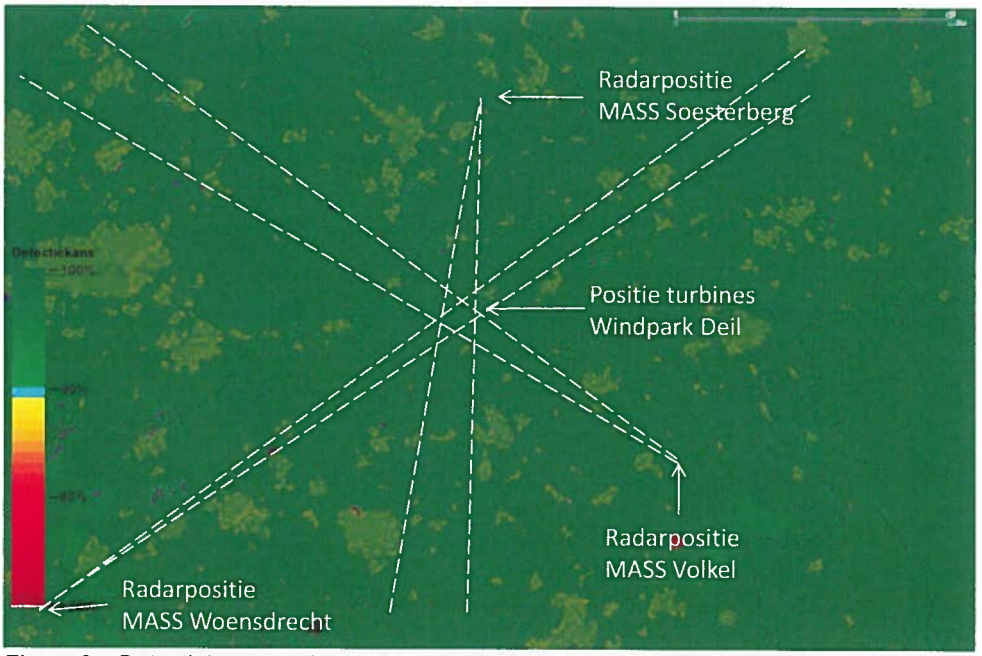
Figuur 6 Detectiekans van het MASS primaire verkeersleidingsradarnetwerk op 1000 voet boven het bouwplan nadat deze is gerealiseerd. De locaties van de windturbines zijn aangegeven met gele stippen.



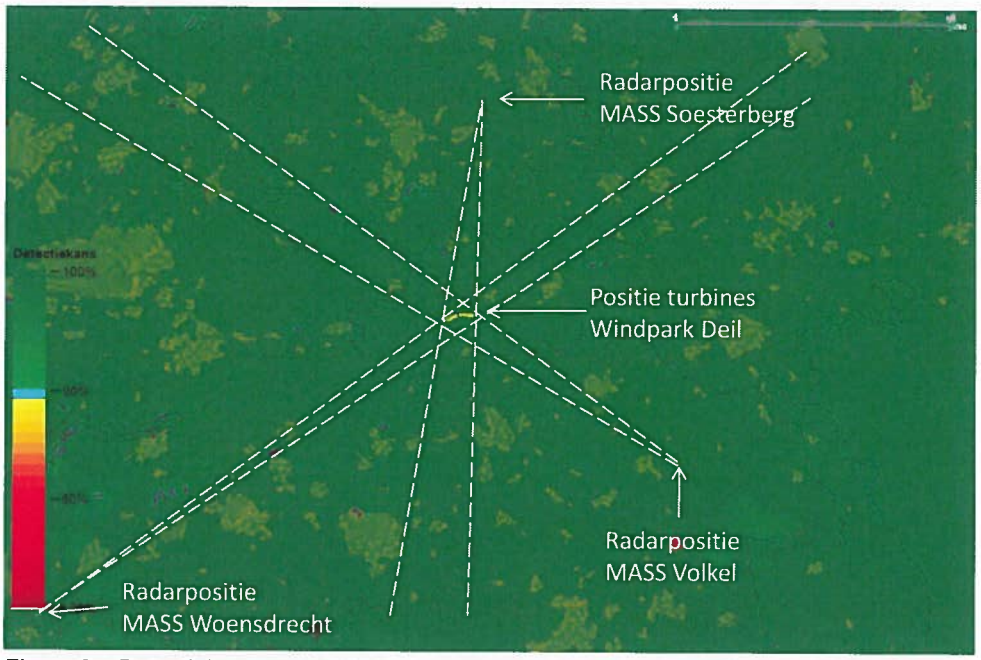
Figuur 7 Het gebied rond de turbines uit Figuur 6 groter weergegeven.

Detectiekans van het MASS primaire verkeersleidingsradarnetwerk in de schaduw van het bouwplan

In Figuur 8 is de detectiekans op 1000 voet van het MASS primaire verkeers-leidingsradarnetwerk uitgerekend voor de gebieden waar schaduw kan ontstaan ten gevolge van het nog te realiseren bouwplan. Op deze resultaten is detectiekansmiddeling toegepast met een straal van 500 m. De stippellijnen afkomstig van de MASS posities van Soesterberg, Volkel en Woensdrecht, lopend over het bouwplan, geven de zones aan waartussen een verminderde detectiekans zou kunnen ontstaan als gevolg van de schaduwwerking. In Figuur 9 is de detectiekans berekend voor hetzelfde gebied na realisatie van het bouwplan. De figuur toont aan dat er geen schaduw is omdat de radars te Soesterberg, Volkel en Woensdrecht elkaar ondersteunen in eventuele schaduwgebieden. Het bouwplan voldoet dus aan de thans gehanteerde 2015 norm.



Figuur 8 Detectiekans van het MASS verkeersleidingsradarnetwerk op 1000 voet in het schaduwgebied van het bouwplan voordat deze is gerealiseerd (baseline). Op dit figuur is detectiekansmiddeling toegepast. De stippellijnen geven aan waar de schaduw kan gaan ontstaan.



Figuur 9 *Detectiekans van het MASS verkeersleidingsradarnetwerk berekend op 1000 voet in het schaduwgebied van het bouwplan nadat deze is gerealiseerd. Op dit figuur is detectiekansmiddeling toegepast. De stippellijnen geven aan waar de schaduw kan ontstaan.*

4 Rekenmethode MPR gevechtsleidingsradar Nieuw Milligen

Een vergelijkbare methodiek als bij de MASS radarketen is toegepast bij de MPR te Nieuw Milligen. Voor de radar wordt echter slecht één toetsingshoogte van 1000 voet aangehouden. Daarnaast wordt geen rekening gehouden met een eventuele ondersteunende dekking van de MPR radar te Nieuw Milligen.
Als referentie zijn ook de radardetectiekansdiagrammen berekend voor de zogenaamde baseline situatie, dat wil zeggen, rekening houdend met alle bestaande windturbines en dus voor realisatie van het bouwplan. Het baseline-bestand van windturbines geeft de situatie aan binnen Nederland, vastgelegd in begin januari 2015, door Windstats[2]. De voor de simulatie noodzakelijke afmetingen van de windturbines zijn afgeleid van de in dit bestand opgenomen gegevens, zijnde fabrikant, opgewekt vermogen, ashoogte en rotordiameter.
Het bouwplan wordt daar vervolgens aan toegevoegd en voor beide situaties (baseline en baseline met bouwplan) worden detectiediagrammen berekend. Door een vergelijking van beide diagrammen kan het detectieverlies worden vastgesteld in de directe nabijheid van de windturbines veroorzaakt door reflecties van de turbines en het eventuele verlies aan radarbereik ten gevolge van de schaduwwerking van het bouwplan.

<u>Conclusies over de detectiekans van de MPR gevechtsleidingsradar te Nieuw Milligen ten gevolge van het bouwplan</u>

De resultaten van deze berekeningen kunnen niet worden overhandigd omdat deze gerubriceerd zijn.
Twee mogelijke optredende effecten zijn onderzocht, de conclusie van deze berekeningen is als volgt:

1. Reductie van de detectiekans ter hoogte van het bouwplan:
   De detectiekans is na realisatie van het bouwplan op de toetsingshoogte van 1000 voet binnen de thans gehanteerde 2015 norm gebleven.
2. Reductie van het maximum bereik ten gevolge van de schaduwwerking van het bouwplan:
   Het maximum bereik van de radar op deze hoogte in de sector waarin schaduwwerking optreedt, blijft na realisatie van het bouwplan binnen de thans gehanteerde 2015 norm.

[2] Voor meer informatie, zie http://www.windstats.nl/



5 Afkortingen

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
CTR	Controlled Traffic Region
MASS	Military Approach Surveillance System
MPR	Medium Power Radar
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PSR	Primary Surveillance Radar
RDS	Rijksdriehoekstelsel
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission