

TNO

PERSEUS 2018

**Toelichting PERSEUS radarhinder
toetsingsmethode en berekeningen 2018**

Technical Sciences

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

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

Datum 31 januari 2018

Auteur(s) Alwin Brettschneider
Onno van Gent
Reinier Tan
Arne Theil

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 51 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever

Projectnaam PERSEUS 2018

Projectnummer 060.31534

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2018 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Technische achtergrond	5
2.1	Primaire radar	5
2.2	Secundaire radar	6
3	Huidige regelgeving	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Radars in beheer bij Defensie (Barro)	9
3.3	Radars in beheer bij LVNL (LIB Schiphol)	16
4	Rekenmethode verkeersleidingsradars	22
4.1	Inleiding	22
4.2	Het militaire MASS verkeersleidingsradarnetwerk	22
4.3	Een infill radar bij Wemeldinge, Zeeland	30
5	Rekenmethode gevechtsleidingsradars	34
5.1	Bestaande MPR radars	34
5.2	Het MPR vervangingsprogramma	35
6	Modellering windturbine	37
6.1	Realistische fabrieksmodellen	37
6.2	TNO worst-case turbine	38
7	Rapportage	40
7.1	Introductie	40
7.2	Uit te voeren handeling initiatiefnemer bij radarhinderonderzoek	41
7.3	Noodzakelijke gegevens voor het uitvoeren van toetsingen	42
7.4	Kosten, doorlooptijden en voorwaarden	43
8	TNO in de adviserende rol	44
8.1	Militaire luchtverkeers- en gevechtleidingssradars	44
8.2	Scheepsradars en VTS systemen	44
8.3	Communicatie verbindingen	49
9	Afkorting	50
10	Handige links en adressen	51

1 Inleiding

Radarsystemen ondervinden mogelijk hinder van windturbines of windmolenparken. Het Ministerie van Defensie heeft daarom normen opgesteld waartegen de prestatie van de radarsystemen getoetst moet worden. Deze normen gelden alleen voor de militaire radarsystemen in Nederland, te weten de verkeersleidingsradars te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel en Woensdrecht en de twee gevechtsleidingsradars te Wier en Nieuw Milligen. Voor de civiele radars bij de luchthaven Schiphol, en Groningen geldt een andere regelgeving. Voor de radars bij Schiphol, is deze regeling op 4 november 2015 aangepast en vastgelegd in het Luchthavenindielingsbesluit (LIB). Meer details hierover is te vinden in het hoofdstuk [LIB Schiphol](#). Deze radars vallen onder de verantwoording van de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL). Het contactadres voor toetsingen bij LVNL luidt: cnstoetsing@lvnl.nl.

Verder is er achtergrondinformatie te vinden over dit onderwerp op de Wind op Land site van Rijkdienst voor Ondernemend Nederland (RVO):

<http://www.windenergie.nl/62/onderwerpen/milieu-en-omgeving/radar>.

In deze toelichting wordt een aantal onderwerpen behandeld:

- [Huidige regelgeving voor militaire radars](#), waarin aangegeven wordt wanneer een bouwplan volgens de Rarro toetsingsplichtig is;
- De handelingen die een initiatiefnemer dient uit te voeren voor de aanvraag van een [Verklaring van Geen bezwaar door Defensie](#);
- [Rapportage](#) waarin aangegeven wordt in welke vorm de resultaten worden weergegeven met daarbij een overzicht van de [kosten, doorlooptijden en voorwaarden](#);
- [Noodzakelijke gegevens](#) die nodig zijn voor TNO om een toetsing uit te kunnen voeren;
- [Technische achtergrond](#), met de werking van een [primaire radar](#) en een [secundaire radar](#) en het onderscheid daartussen;
- [Modellering windturbine](#) binnen het PERSEUS model en de [TNO worst-case turbine](#) die kan worden toegepast bij een toetsing op het moment dat er nog geen windturbinetype en -fabrikant beschikbaar is;
- [Rekenmethode verkeersleidingsradars](#), waarbij onder andere ingegaan wordt op de [300, 500 en 1000 voet toetsingsgebieden](#) rond de militaire vliegvelden het [AHN hoogtebestand](#) en het feit dat de deze radars in een netwerk elkaar onderling kunnen ondersteunen. Bij dit laatste wordt ook ingegaan op de extra ondersteuning van de extra MASS radar bij De Kooy, de TAR West radar bij Schiphol en de geplande [infill radar bij Wemeldinge](#) in Zeeland;
- [Rekenmethode gevechtsleidingsradars](#), met een verklaring waarom een 3D gevechtsleidingsradar minder gevoeligheid vertoont tegen windturbines dan de 2D verkeersleidingsradars;
- [TNO in de adviserende rol](#). Naast formele toetsingen kan TNO ook het rekenmodel aanbieden om te komen tot een optimale inpassing van een bouwplan, rekening houdend met radarhinderaspecten.

Aan het eind van de toelichting vindt u een lijst met [afkortingen een overzicht met handige links](#).

TNO is geen overheidsinstelling of -bedrijf en is dat ook nooit geweest. TNO is een in 1932 bij wet opgerichte publiekrechtelijke rechtspersoon. In de TNO-wet is de maatschappelijke positie van TNO vastgelegd, alsmede de belangen waarvoor zij staat. Het feit dat de wet van TNO verlangt dat deze belangen goed worden beschermd, heeft gevolgen voor de wijze waarop afspraken met opdrachtgevers en

partners kunnen worden gemaakt en vastgelegd in overeenkomsten. Als onafhankelijke not-for-profit onderzoeksorganisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek, levert TNO op basis van haar expertise en onderzoek een belangrijke bijdrage aan de concurrentiekracht van bedrijven en organisaties, aan de economie en aan de kwaliteit van de samenleving als geheel.

TNO voert al sinds 1995 radarhinderberekeningen uit voor Defensie en heeft daarmee dus ruime ervaring met het berekenen van door windturbines en hoogbouw veroorzaakte radarverstoring. De door TNO gehanteerde en ontwikkelde methodiek voor de berekening van de afname van de radarprestaties is met het Ministerie van Defensie overeengekomen.

Naast de taak van het formeel beoordelen van een bouwplan op mogelijke radarhinder heeft het Ministerie van Defensie TNO toestemming gegeven om in een adviserende rol samen met een potentiële ontwikkelaar te komen tot een optimale inpassing van een bouwplan, rekening houdend met radarhinderaspecten. Een bouwplan hoeft niet alleen te bestaan uit de realisatie van een nieuw bouwwerk of één of meerdere windturbines, maar kan ook gecombineerd zijn met het verwijderen van bestaande bouwwerken of windturbines.

Noot: Dit document is bedoeld als toelichting op de bestaande regelgeving. Er kunnen echter verder geen rechten aan worden verbonden.

2 Technische achtergrond

De afkorting RADAR, oftewel **Radio Detection And Ranging**, werd door de Amerikanen rond 1942 geïntroduceerd. De uitvinding is echter van ruim voor de Tweede Wereldoorlog. Er wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde primaire en secundaire radar. Primaire radarsystemen zijn non-coöperatief, en hebben geen additionele apparatuur nodig om een doel te detecteren. Secundaire radarsystemen zijn coöperatief en kunnen alleen doelen detecteren die “meewerken” door middel van een transponder. Primaire radarsystemen hebben over het algemeen een militaire toepassing, terwijl secundaire radarsystemen met name in de burgerluchtvaart worden gebruikt.

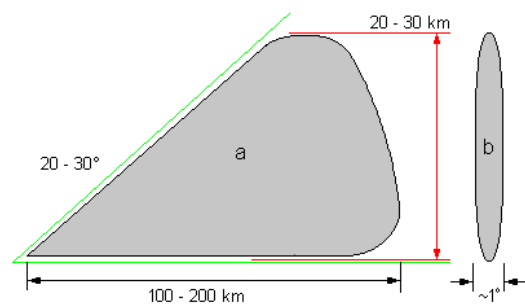
2.1 Primaire radar

Een primaire radar werkt door radiopulsen uit te zenden, die door een doel worden gereflecteerd. Deze reflectie of echo wordt door de radarantenne vervolgens weer ontvangen. Radiogolven verplaatsen zich met de snelheid van het licht, circa 300.000 km/s. Door de tijd te meten tussen de uitgezonden puls en de ontvangen reflectie kan de afstand worden bepaald.

Naast de afstand is ook de richting van de echo van belang. Om die reden wordt een radiopuls uitgezonden en ontvangen in een bundel. Rondzoekradars hebben altijd een vaanvormige bundel, zoals in Figuur 1 aangegeven.

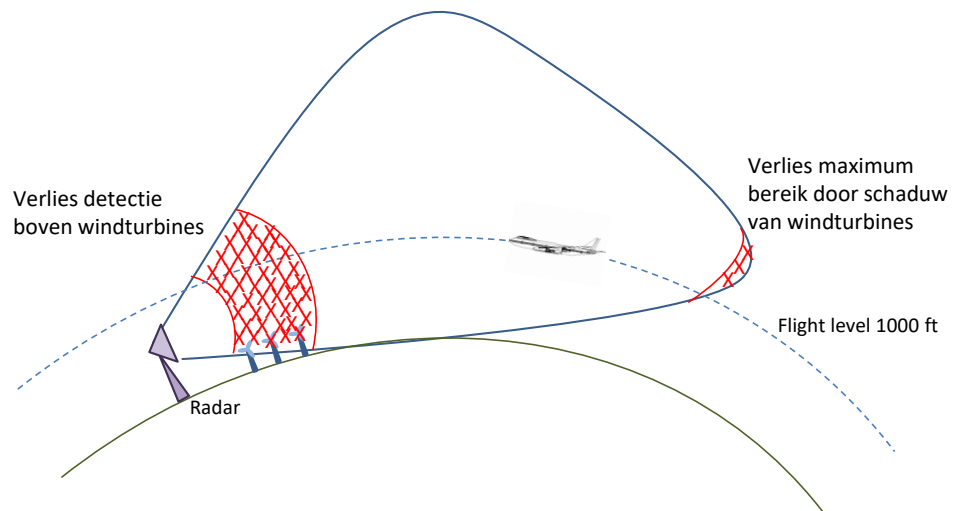
Doordat de bundel smal is in het horizontale vlak kan de peilingshoek van een doel nauwkeurig bepaald worden. De grote openingshoek in elevatie zorgt er voor dat alle doelen worden gezien van laag tot hoog. Als de antenne met 15 omwentelingen per minuut rond draait om zijn verticale as, wordt elke vier seconden een radarbeeld opgebouwd over 360° rond de radar.

Luchtverkeersradars zijn in staat kleine reflecties afkomstig van vliegtuigen te detecteren tussen vaak veel grotere reflecties van gebouwen en andere stilstaande obstakels. Dit wordt in de radar gerealiseerd door gebruik te maken van het Dopplereffect. Het geluid van een auto die naar een ontvanger toe rijdt heeft een hogere frequentie dan als dezelfde auto van de ontvanger af rijdt. Bij radaruitzendingen treedt dit effect ook op. De frequentie van het gereflecteerde signaal van een naar de radar toe vliegend vliegtuig is iets hoger dan de frequentie van het uitgezonden signaal en iets lager als deze van de radar af vliegt. Bij een stilstaand obstakel is de frequentie van het verzonden en ontvangen signaal exact gelijk. Dus door te kijken naar het verschil in frequentie tussen het uitgezonden en ontvangen signaal kan een radar onderscheid maken tussen stilstaande en bewegende objecten. Dit is één van de problemen met windturbines. De ronddraaiende wieken van de windturbines veroorzaken reflecties met Doppler die daardoor voor een radar niet te onderscheiden zijn van een vliegtuig. Hierdoor kan boven een windpark de detectie van vliegtuigen verstoord raken. Dit is uiteraard een bijzonder ongewenste situatie.

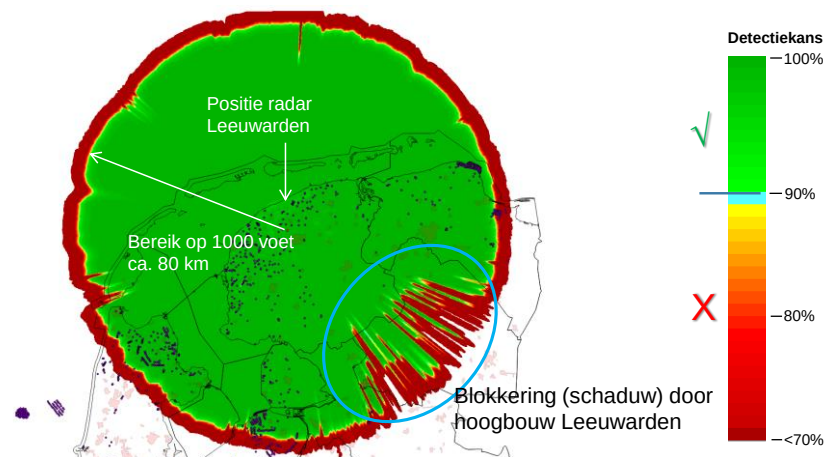


Figuur 1: Een vaanvormige bundel, de typische bundelvorm voor een rondzoekradar

Naast reflecties, veroorzaakt een windturbine ook een schaduw achter de turbine. Het begrip schaduw bij radarsignalen is anders dan de schaduw bij zichtbaar licht. De radarsignalen buigen iets om de obstakels heen, waardoor er alleen vlak achter de radar bijna geen radarsignaal meer waarneembaar is. Na enkele honderden meters vindt er enig herstel plaats, waardoor er achter de windturbine nog wel detectie van doelen kan plaatsvinden. In de schaduw is er dus geen sprake van ontbreken van detectie, maar meer sprake van vermindering van de detectiekans. Wel wordt, door de afscherming van een deel van het radarsignaal door de windturbine, het maximum bereik van de radar in de sector achter de turbine verminderd. Zie Figuur 2.



Figuur 2: Het verlies aan detectiekans boven het windpark en het verlies aan maximum bereik in het verlengde van het park.



Figuur 3: Voorbeeld van een berekening van de radardetectiekans op 1000 voet.

2.2 Secundaire radar

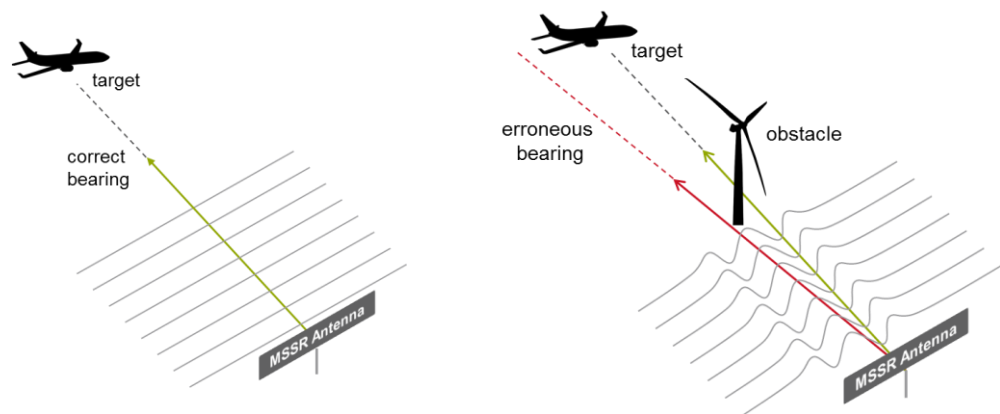
Naast de hierboven beschreven primaire radars zijn er ook zogenaamde secundaire radarsystemen. Een door de secundaire radar uitgezonden puls wordt aan boord van het vliegtuig ontvangen, waarna een bericht wordt teruggezonden. De ontvangst/zendapparatuur aan boord van het vliegtuig wordt *transponder* genoemd. Het bericht dat de *transponder* terugzendt bevat onder andere een

identificatiecode en de barometrische hoogte van het vliegtuig. Daarnaast kan een secundaire radar de richting van het ontvangen bericht zeer nauwkeurig peilen. Een eigenschap van dit systeem is dat een vliegtuig moet “meewerken”, de *transponder* aan boord moet immers antwoord geven op een ondervraging. Dit maakt het systeem minder voor militaire toepassingen. Als de vlieger immers de transponder uitschakelt, wordt het vliegtuig door de secundaire radar niet meer waargenomen. Een secundaire radar is minder gevoelig voor interferentie ten gevolge van obstakels en windturbines. Bij de realisatie van een bouwplan wordt daarom voor Defensie alleen de radarhinder van de primaire radar onderzocht. Als de hinder onder de norm blijft zal dit in het algemeen ook gelden voor de secundaire radar. Primaire en secundaire radarsystemen zijn vaak geïntegreerd in één ronddraaiend antennesysteem, zie Figuur 4.



Figuur 4: De Military Approach and Surveillance System (MASS) verkeersleidingsradar. De onderste antenne is van de primaire radar. Daarboven bevindt zich de antenne van de secundaire radar. Het geheel draait rond met 15 omwentelingen per minuut (Bron: Ministerie van Defensie).

Ook het functioneren van de secundaire radar kan beïnvloed worden door de aanwezigheid van windturbines. Daarbij zijn de effecten niet zo zeer het verlies aan detectie, maar de beïnvloeding van de peilingsmeting. Met behulp van de grote antenne kan de peiling waarin het antwoord door het vliegtuig wordt verzonden zeer nauwkeurig worden bepaald. Een windturbine die zich in het pad van het vliegtuig naar de antenne bevindt, kan het golffront van het signaal aantasten en de peilingmeting beïnvloeden. Daarbij onderscheid een windturbine zich niet van andere obstakels, zoals hoogspanningsmasten of torenflats, in zich het pad kunnen bevinden.



Figuur 5 Een windturbine die een obstakel kan vormen in het pad van het vliegtuig naar de antenne, waardoor de peilingsmeting van de antenne beïnvloed kan worden.

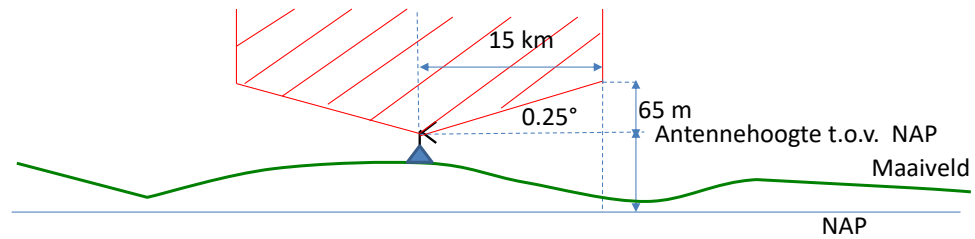
3 Huidige regelgeving

3.1 Inleiding

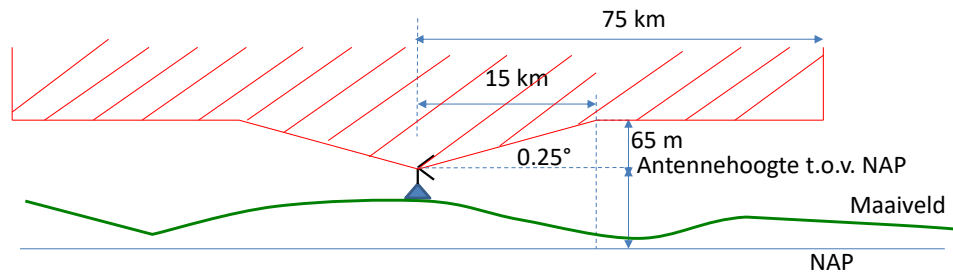
In de twee komende paragrafen wordt de huidige regelgeving omtrent de radarhinder voor militaire radars en civiele radar nader toegelicht. Het betreft een interpretatie opgesteld door TNO waar verder geen rechten kunnen aan kunnen worden verleend. De oorspronkelijke teksten in de Regeling algemene regels ruimtelijke ordening (Rarro) en het Luchthavenindelingsbesluit (LIB) Schiphol prefereren.

3.2 Radars in beheer bij Defensie (Barro)

De besluiten omtrent de radars die in beheer zijn van defensie in de omgeving zijn vastgelegd in de Barro of Besluit algemene regels ruimtelijke ordening. De bijbehorende regelgeving is verder uitgewerkt in de Regeling algemene regels ruimtelijke ordening (Rarro). Bij de huidige regelgeving voor de militaire radars wordt voor het vastleggen van de radarverstoringsgebieden een normprofiel aangehouden dat voor gebouwen loopt tot 15 km (zie Figuur 6) vanaf de primaire radar, en voor windturbines tot 75 km (zie Figuur 7) vanaf de primaire radar. Windturbines in het zicht van de radar veroorzaken vanwege overwegend elektrisch geleidende en bewegende onderdelen en vanwege hun omvang verstoring van het radarbeeld. Daarom gelden voor windturbines ruimere radarverstoringsgebieden dan voor overige bouwwerken. Er wordt binnen de regeling op dit moment rekening gehouden met de vijf Military Approach en Surveillance System (MASS) verkeersleidingsradars (te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel, Woensdrecht) en met de twee militaire gevechtsleidingsradars te Wier (Noord Friesland) en Nieuw Milligen (op de Veluwe), welk op termijn zal worden vervangen door een nieuw systeem op ook de locatie Herwijnen. Om die reden is ook deze locatie per 1 juli 2016 opgenomen in de Rarro. Let wel, deze profielen geven alleen de afstanden en hoogtes aan waarbinnen een toetsing dient te worden uitgevoerd. Het geeft dus verder geen indicatie in hoeverre bij plaatsing de norm zou kunnen worden overschreden.



Figuur 6: Het hoogteprofiel (niet op schaal) voor gebouwen. Als een deel van het gebouw door het profiel steekt dient een toetsing plaats te vinden.



Figuur 7: Het hoogteprofiel (niet op schaal) voor windturbines. Als de tip van de wiek door het profiel steekt dient een toetsing plaats te vinden.

De locatiegegevens van de vijf verkeersleidingsradars en van de gevechtswuurleidingsradars te Wier, Nieuw Milligen en Herwijnen worden weergegeven in Tabel 1. In deze tabel zijn zowel de antennehoogtes ten opzichte van NAP aangegeven die aangehouden worden voor de bepaling van het toetsingsprofiel als ook de tiphoogte van een windturbine ten opzichte van NAP waarboven toetsing verplicht is. Begin 2017 is de nieuwe, TAR (Terminal Approach Radar) West bij Schiphol operationeel geworden en is deze radar opgenomen in het MASS verkeersleidingsradarnetwerk. Omdat het geen militaire radar is, geldt er rond deze radar geen toetsingsprofiel zoals weergegeven in Figuur 7. De toetsingsplicht voor windturbines rond deze radar zijn vastgelegd in het Luchtvaart Inpassingsbesluit (LIB) van Schiphol. Binnenkort zal het verkeersleidingsradarnetwerk verder uitgebreid worden met een extra MASS radar op het Marinevliegkamp De Kooy bij Den Helder. Deze radar zal naar verwachting in de loop van 2018 opgenomen worden in de Rarro, maar wordt van 1 januari 2018 al meegenomen in de berekeningen. De MPR gevechtsleidingsradars zullen binnenkort worden vervangen door de nieuwe SMART-L EWC GB radar, waarbij de radarlocatie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen. Deze nieuwe locatie is daarom per 1 juli 2016 in de Rarro opgenomen. Omdat het nog onbekend is wanneer de MPR van Nieuw Milligen buiten bedrijf wordt gesteld, blijft deze vooralsnog in de Rarro vermeld en blijft dus toetsingsplichtig.

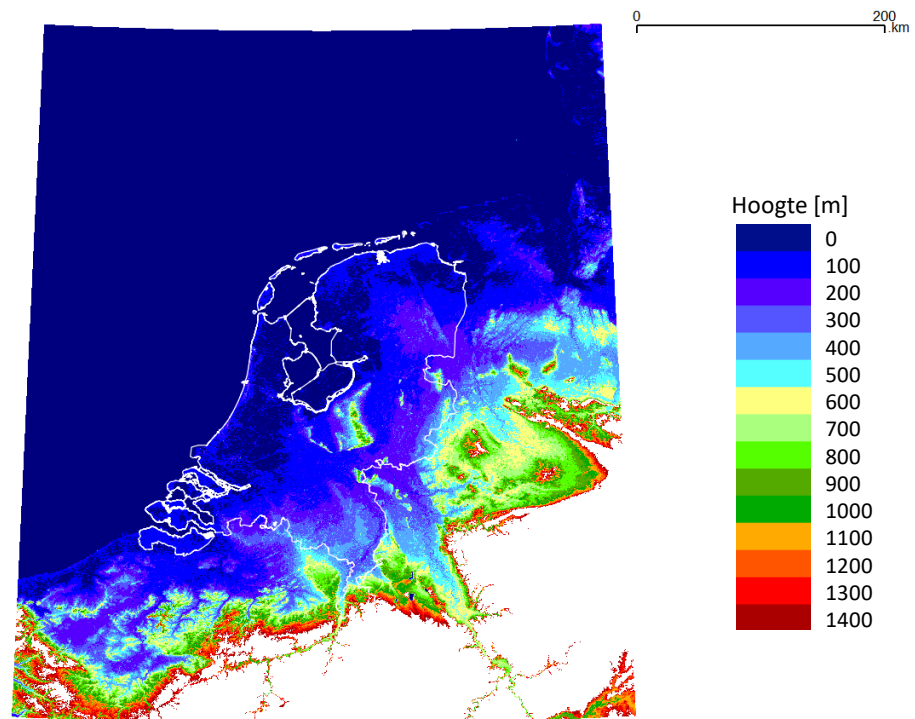
Tabel 1: Locatiegegevens van de vijf MASS verkeersleidingsradars en de twee gevechtswaarschuwingsradars te Nieuw Milligen en Wier, de aangehouden antennehoogte voor het toetsingsprofiel en de toegepaste feitelijke hoogte van de primaire radarantenne. De gevechtswaarschuwingsradars zullen binnenkort worden vervangen waarbij de radarpositie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen

Primaire radars	Coördinaten Rijksdriehoekstelsel		Antennehoogte voor toetsingsprofiel ten opzichte van NAP	Tiphoogte voor toetsingsplicht ten opzichte van NAP
	X [m]	Y [m]	[m]	[m]
Leeuwarden	179139	582794	30	95
Twenthe	258306	477021	71	136
Soesterberg	147393	460816	63	128
Volkel	176525	407965	49	114
Woensdrecht	083081	385868	48	113
De Kooy	113911	548781	n.v.t.*	25.0
TAR West Schiphol	109603	482283	n.v.t.**	34.0
Nieuw Milligen (MPR)	179258	471774	53	118
Wier (SMART-L)	170562	585710	24	89
Herwijnen (SMART-L)	137106	427741	25	90

* Voor deze militaire radar geldt nog geen toetsingsprofiel aangezien de radar nog niet is opgenomen in de Rarro

** Dit is een civiele radar en is daarom niet opgenomen in de Rarro

Als basisondergrond voor het hoogteverloop van het terrein gebruikt TNO terreinhoogtegegevens afkomstig van de NASA *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM1) met een resolutie van 1 boogseconde (ongeveer 30 m langs een meridiaan). Dit bestand is met een radar opgenomen en toont alleen het verloop in hoogte van het terrein en geen relatief kleine bouwwerken, maar heeft wereldwijde dekking en bezit geen gebieden zonder hoogtedata. Het wordt om die reden bijvoorbeeld toegepast als hoogte informatie in Google Earth. Binnen PERSEUS wordt een gebied geladen dat zich uitstrekt tot ruim over de landgrenzen, zie Figuur 8, om ook buiten Nederland een realistisch beeld te krijgen van de radardekking van radars vlak aan de landgrens, zoals de MASS radar bij Twenthe.

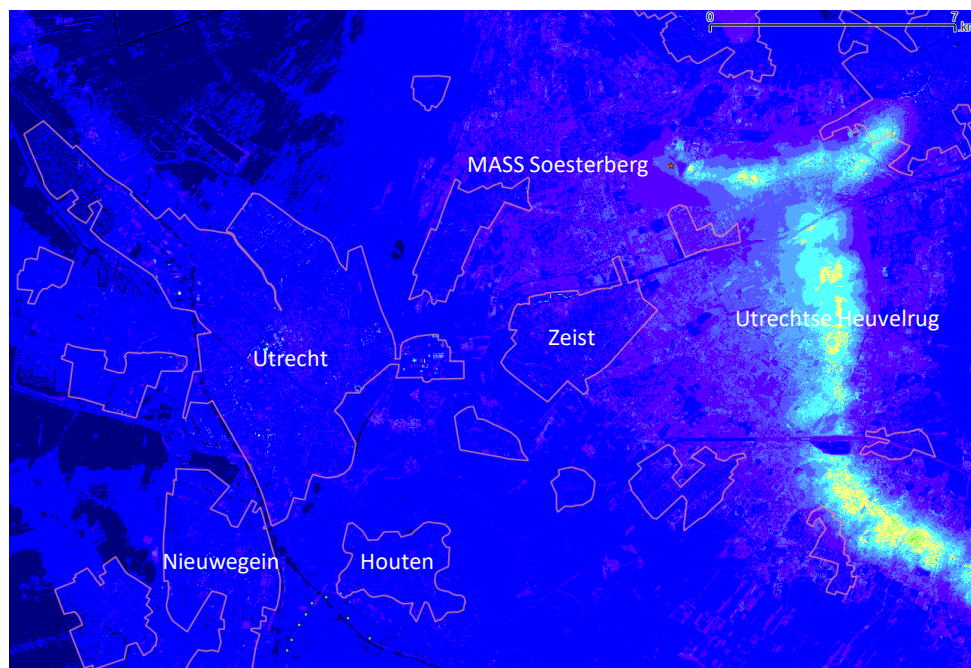


Figuur 8 Het SRTM1 hoogtebestand met een resolutie van 1 boogseconde (ongeveer 30 m langs een meridiaan).

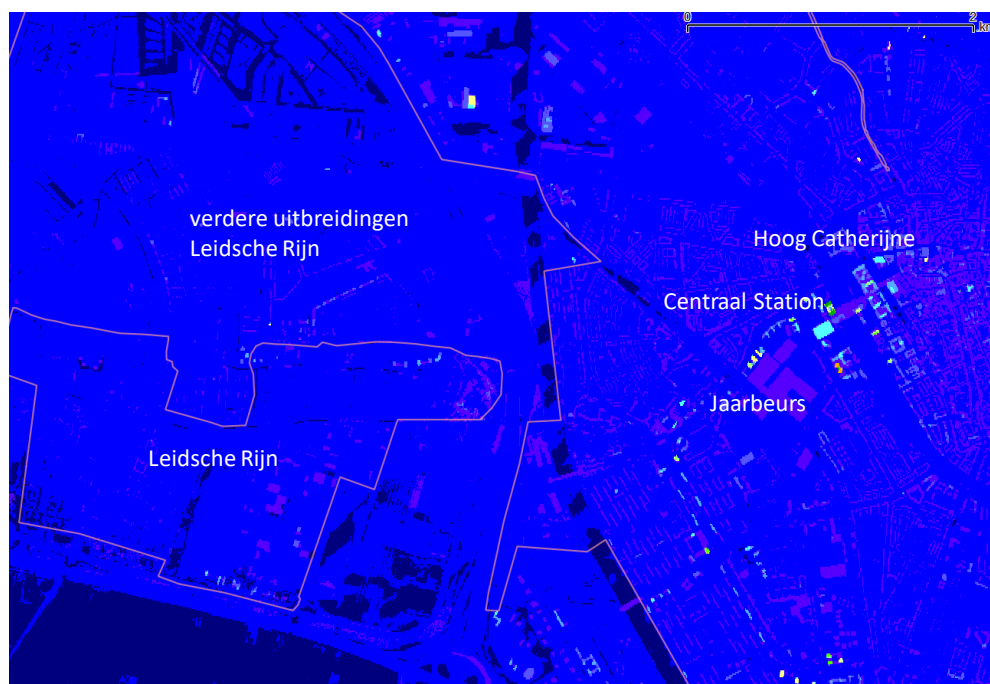
Binnen de Nederlandse grenzen werd in het verleden het Actueel Hoogtebestand Nederland AHN 1 toegepast. Maar per 1 januari 2018 is dit bestand vervangen door een recenter opgenomen AHN2 hoogtebestand en voor Friesland, Zeeland en delen van Zuid-Holland door het nog recentere AHN3 bestand, zie Figuur 9. In dit bestand bevindt zich bebouwing zoals aanwezig tijdens de opnames tussen 2007 en 2012 voor AHN2 en vanaf 2014 voor AHN3. Naast dit hoogtebestand met bebouwing hanteert TNO eveneens een bestand voor het maaiveld, bepaald uit alleen het AHN2 bestand. Beide bestanden bezitten een ruimtelijke resolutie van 10 m.



Figuur 9 In de oranje omlijnde gebieden is het AHN-2 hoogtebestand aangevuld met het AHN-3 hoogtebestand.



Figuur 10 Een voorbeeld van het AHN2 hoogtebestand in de provincie Utrecht. De roze contouren geven de stedelijke gebieden zoals toegepast bij AHN1. In het AHN2 bestand is de bebouwing nu ook buiten deze gebieden zichtbaar.

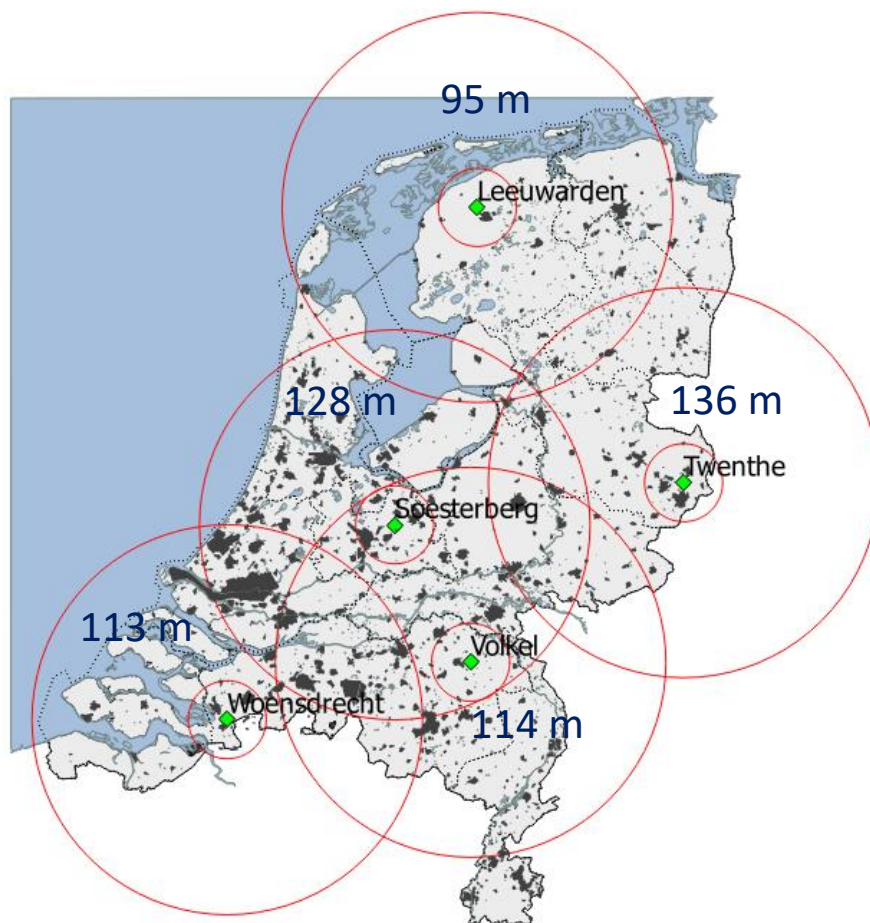


Figuur 11 Een voorbeeld van een deel van het stedelijk gebouw behorend bij de stad Utrecht. De roze contouren geven de stedelijke gebieden zoals toegepast bij AHN1. De bebouwing en hun bouwhoogte en recente uitbreidingen in Leidsche Rijn, zowel binnen als buiten de stedelijke gebieden zijn goed herkenbaar.

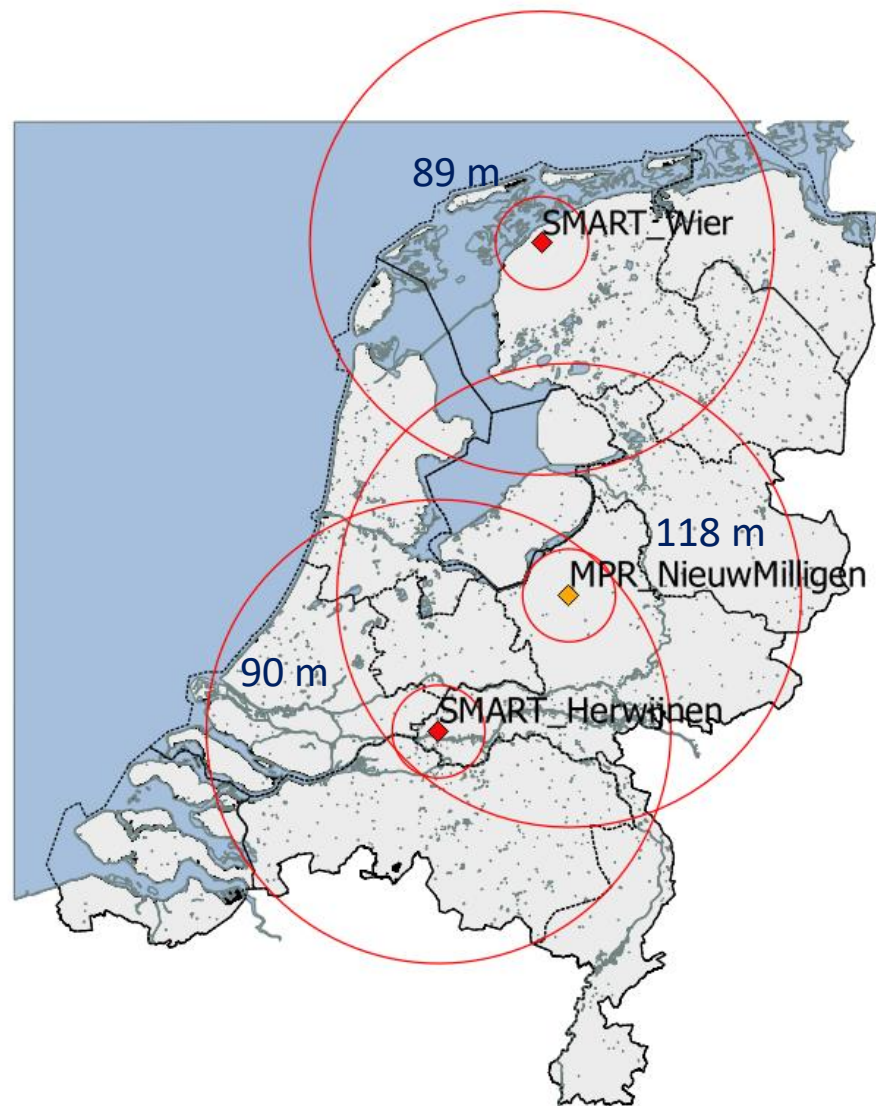
De actuele hoogte informatie op een bepaalde locatie in Nederland is te achterhalen met behulp van een viewer op de AHN site <http://www.ahn.nl/pagina/viewer.html>. Als een deel van het bouwplan wordt afgeschermd door het tussenliggende terrein of door bebouwing in een stedelijk

gebied, en dus niet wordt belicht door de radar, dan wordt dit deel van het bouwplan niet betrokken in de berekening.

De 15 km en 75 km cirkels rond de verkeersleidingsradars de gevechtsleidingsradars en de stedelijke gebieden volgens het AHN1 bestand, zijn weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13.



Figuur 12: De locaties van de vijf MASS verkeersleidingsradars (groene ruit) met daaromheen de 15 en 75 km cirkels. De getallen in de cirkels geven de tiphoogtes weer waarboven de toetsingsplicht geldt. In het overlapgebieden geldt de laagste tiphoogte. De donkergrijze vlakken zijn de in de AHN-1 gedefinieerde stedelijke gebieden.



Figuur 13: Locaties van de nieuwe SMART-L EWC GB gevechtsleidingsradars (rode ruit) en de bestaande MPR (oranje ruit) met daaromheen de 15 en 75 km cirkels. De getallen in de cirkels geven de tiphoogtes weer waarboven de toetsingsplicht geldt. In het overlapgebied geldt de laagste tiphoogte, dus in dit geval de 89 m behorend bij de radar te Wier. De donkergrijze vlakken zijn de in de AHN-1 gedefinieerde stedelijke gebieden.

In de overlapgebieden van de cirkels geldt de laagste hoogte. Er dient een toetsing door TNO uitgevoerd te worden als een deel van het bouwwerk door het bebouwingsprofiel steekt of als de tip van de wiek door het windturbineprofiel steekt.

3.3 Radars in beheer bij LVNL (LIB Schiphol)

Op luchthaven Schiphol staan twee Terminal Approach Radars (TAR), de TAR 1, en de TAR 4. De TAR 1, geplaatst tussen de taxibanen op het vliegveld, is alleen een secundaire radar, en de TAR 4, geplaatst in het Amsterdamse Bos, is zowel een primaire als een secundaire radar. Deze laatste radar is in 2017 vervangen door de nieuwe TAR West, gelegen naast de taxibaan die naar de Polderbaan leidt.

Al deze radars vallen onder het beheer van LVNL. Per 1 januari is de TAR West radar opgenomen in het primaire verkeersleidingsradarnetwerk en wordt dus als zodanig meegenomen binnen de berekeningen in PERSEUS.

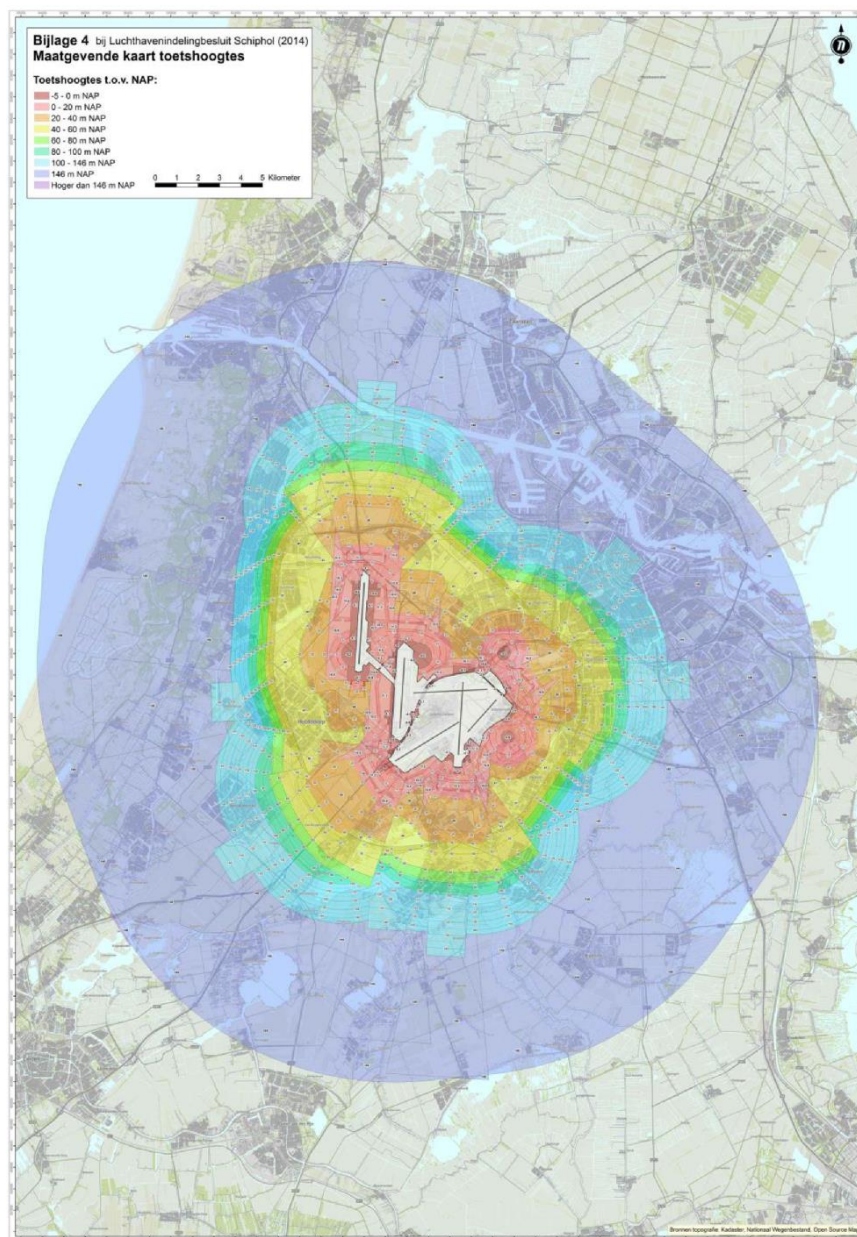


Figuur 14: De TAR 1 (links) geplaatst tussen de taxibanen op het vliegveld, de TAR 4 (midden) geplaatst in het Amsterdamse Bos. Deze laatste radar is in 2017 vervangen door een nieuwe TAR West (rechts) gelegen naast de taxibaan richting de Polderbaan (Bron: LVNL).

LVNL hanteert samen met Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) bij plaatsing van windturbines andere regels dan defensie. Deze regels zijn vastgelegd in het vernieuwde Luchthavenindelingsbesluit (LIB) Schiphol, die vanaf 5 november 2015 van kracht is. In Figuur 15 is de zone (zie bijlage 6 van LIB) rond de luchthaven gedefinieerd. Binnen deze zone gelden er bouwbeperkingen voor windturbines met een **ashoogte** die hoger is dan 35 m of voor (urban)windturbines met een hogere tiphoogte dan 5 m vanaf het dak van het gebouw of waarbij de tiphoogte en het gebouw gezamenlijk hoger is dan 35 m. In Figuur 16 (zie bijlage 4 van LIB) worden in verschillende zones aangegeven welke maximum bouwhoogte ten opzicht van NAP geldt rondom de luchthaven. De maximum bouwhoogte loopt vanaf 146 m ten opzichte van NAP steeds verder af naarmate men dichterbij de luchthaven komt. Deze maxima gelden ook voor de maximum tiphoogte van een windturbine.

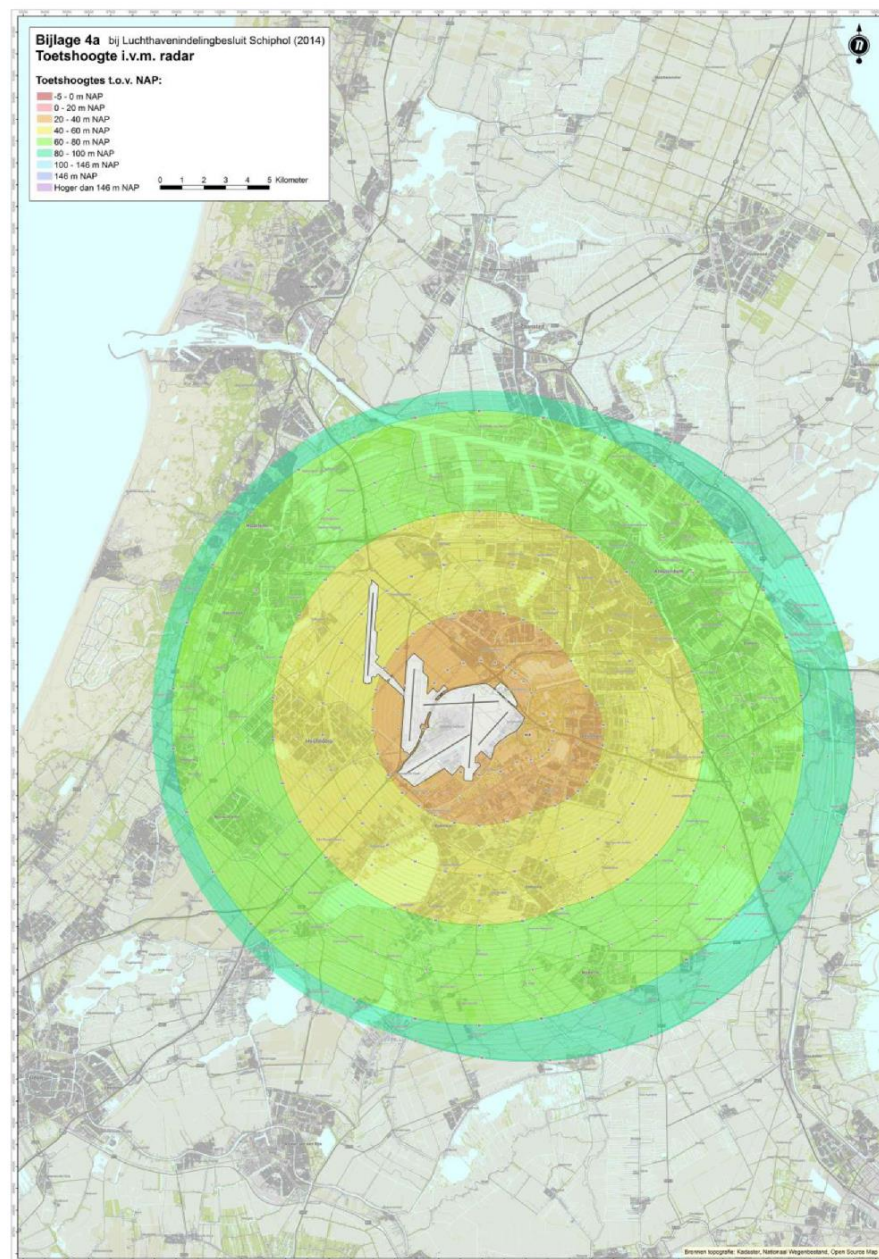


Figuur 15: Bijlage 6 van de LIB Schiphol, met de zone waarbinnen een bouwbeperking geldt voor windturbines met een ashoogte van hoger dan 35 m of voor (urban)windturbines bovenop een gebouw waarbij de tip meer dan 5 m uitsteekt, of waarbij de tiphoogte inclusief het gebouw hoger is dan 35 m (Bron: LIB 2016).



Figuur 16: Bijlage 4 van de LIB Schiphol, met de zones van maximum bouwhoogtes waarbinnen plaatsing van windturbines niet mogelijk is indien de tiphoogte ten opzichte van NAP boven de in de kaart aangegeven maxima komt. In de buitenste zone met een contour overeenkomstig met Figuur 15 (bijlage 6) (violet) geldt een maximum van 146 m NAP, daarbinnen (lichtblauw) aflopend van 146-100 m NAP, en weer daarbinnen (donkerblauw) aflopend van 100 naar 80 m NAP, vervolgens (groen) van 80 naar 60 m NAP, etc. (Bron: LIB 2016).

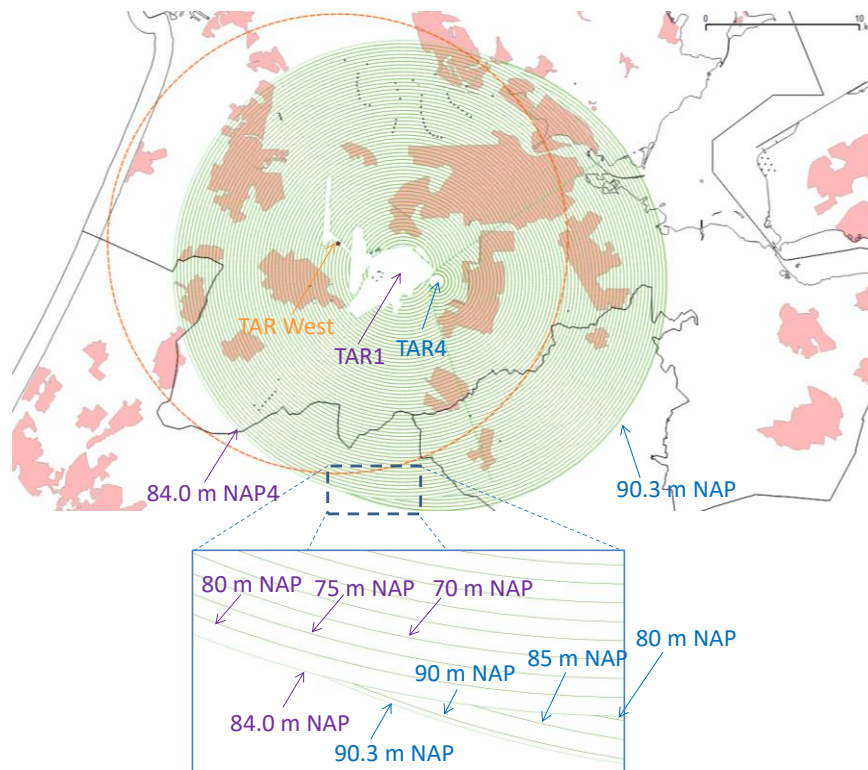
Als de tiphoogte van de windturbine lager dan de in Figuur 16 dan betekent het nog niet dat deze turbine mag worden gebouwd. In veel gevallen is een nader onderzoek of toetsing vereist. Daartoe zijn in Figuur 17 (zie bijlage 4a van LIB) de zones aangegeven met maximale tiphoogtes. Indien de tiphoogte van de te bouwen windturbine hoger is dan dit maximum, dan dient er een toetsing plaats te vinden om te bepalen in hoeverre de windturbine hinder veroorzaakt op één van de radars van Schiphol.



Figuur 17: Bijlage 4a van de LIB Schiphol, met de zones met de tiphoogtes, ten opzichte van NAP, waarboven een toetsing moet plaatsvinden in hoeverre de radars op Schiphol hinder kan ondervinden van de windturbine. De toetsingshoogte loopt van buiten naar binnen af van 100 tot 80 m NAP (donkergroen), naar 80 tot 60 m NAP (lichtgroen), naar 60 tot 40 m (geel) tot een tiphoogte van 40 tot 20 m NAP (bruin) het dichtstbij de luchthaven. Elke lijn vertegenwoordigt dus een stap van 5 m in hoogte. (Bron: LIB 2016).

In tegenstelling tot de militaire radars dient hier ook een toetsing plaats te vinden voor de secundaire radars. Om die reden zijn er twee cirkelvormige zones gedefinieerd rond de TAR 4, de huidige primaire en secundaire radar van Schiphol en de TAR 1 de huidige tweede secundaire radar van Schiphol. In de toekomst zal dit uitgebreid worden met een zone rond de nieuwe TAR West radar. Voor wat betreft het hoogtecriterium wordt dezelfde definitie aangehouden als in Figuur 6. Voor de TAR 1 is dit een hoogte van 84 m NAP op 15 km afstand van de radar, en daarna onder een hoek van 0.25° , aflopend naar de antennehoogte. Voor de TAR 4

is dit 90.3 m NAP op 15 km afstand tot de radarposititie en daarna eveneens aflopend naar de antennehoogte. Indien de lijn wordt doorbroken door de tiphoogte van de turbines, dan dient er een toetsing plaats te vinden.



Figuur 18: De twee 15 km zones rond de TAR 1 en TAR 4. Voor de TAR 1 geldt voor de buitenste lijn op 15 km afstand tot de radar een limiet van 84 m NAP. Bij de eerstvolgende lijn geldt voor een hoogtelimiet van 80 m NAP. Voor de lijnen dichterbij de radar gaat de hoogtelimiet steeds in stappen van 5 m omlaag. Voor de TAR 4 geldt een hoogtelimiet op 15 km van 90.4 m. Voor de eerstvolgende lijn geldt een limiet van 90 m NAP, etc. De 15 km zone voor de nieuwe TAR West radar, die nog niet is opgenomen in de huidige LIB, maar binnenkort wel gaat gelden is in oranje aangegeven. (Bron: LIB 2016).

Ter ondersteuning van het nieuwe LIB voor Schiphol is een speciale website <http://www.lib-schiphol.nl> beschikbaar waarmee initiatiefnemers eenvoudig kunnen nagaan welke beperkingen er rond Schiphol gelden voor hun bouwplannen. Indien deze aanwezig zijn dienen de plannen ingediend te worden bij de betreffende gemeente. De gemeente neemt daarna contact op met ILT voor een verzoek van geen bezwaar. Op basis van het bouwplan zal ILT bepalen in hoeverre er op het gebied van radarhinder een nader onderzoek moet plaatsvinden en welke facetten onderzocht dienen te worden. Dit onderzoek wordt in principe uitgevoerd door TNO. Tot slot dient nog opgemerkt te worden dat deze LIB toetsing aanvullend is en de toetsing van defensie niet vervangt. Deze zal dus ook nog te allen tijde uitgevoerd moeten worden.

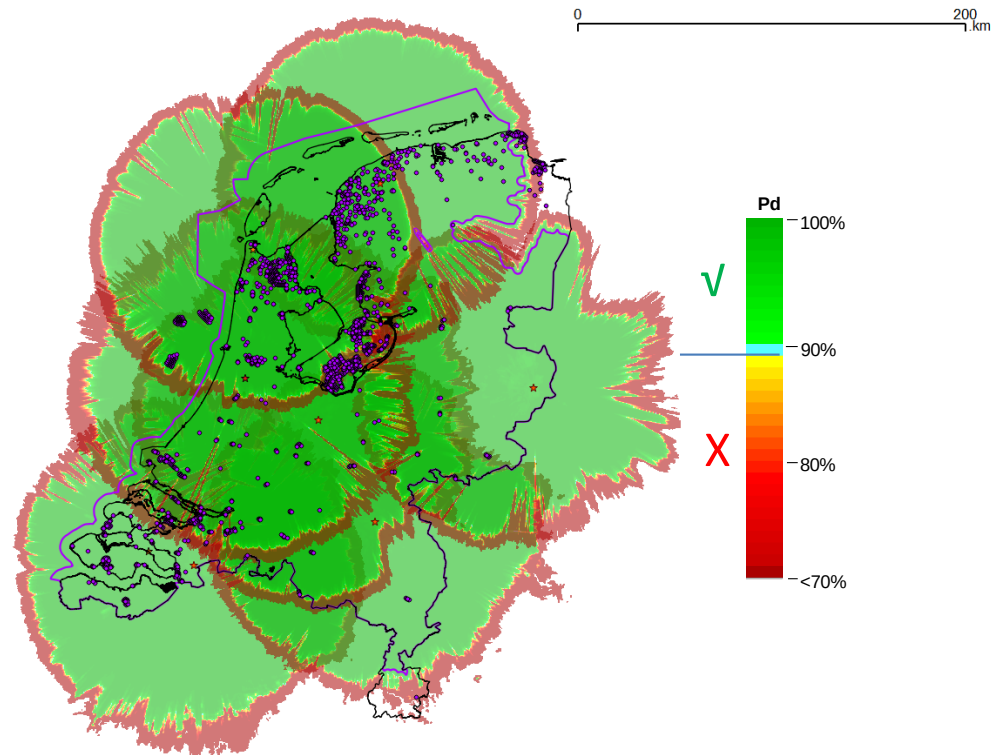
4 Rekenmethode verkeersleidingsradars

4.1 Inleiding

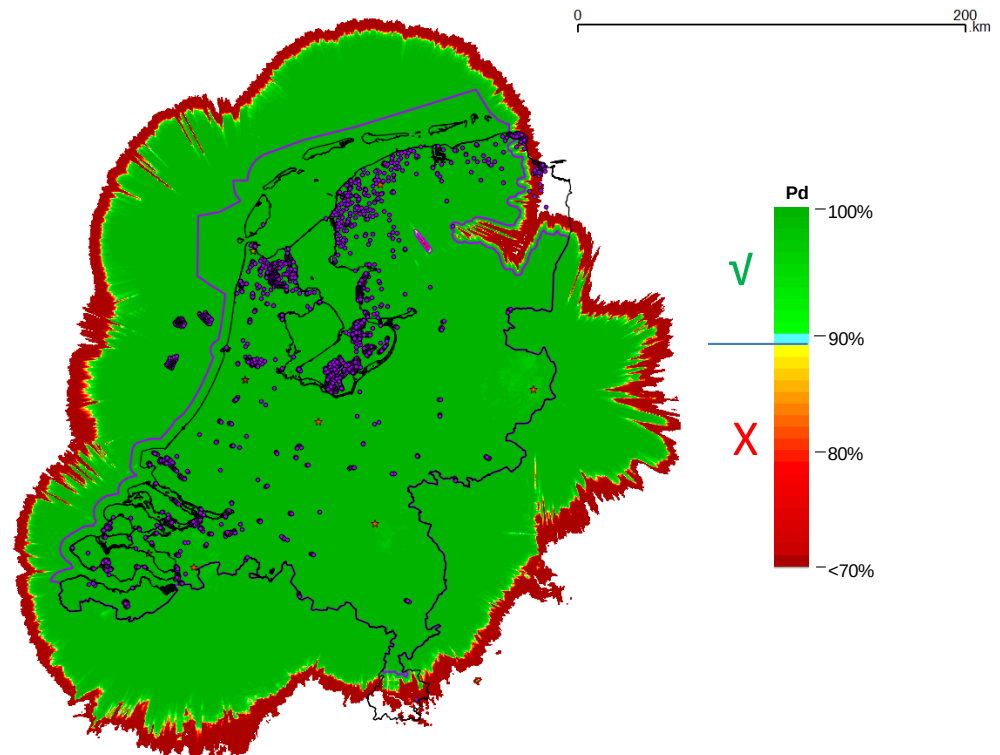
Voor de rekenmethode wordt gebruik gemaakt van het rekenmodel PERSEUS (*Program for the Evaluation of Radar Systems in an Extended Urban Setting*). Dit model is door TNO ontwikkeld in opdracht van de ministeries van Defensie en van Infrastructuur en Milieu. PERSEUS rekent de detectiekans uit van een doel op een gegeven hoogte. Bij de bepaling van deze detectiekans wordt niet alleen rekening gehouden met de schaduw veroorzaakt door het bouwplan, zoals bij de oude methode, maar ook met de radarreflecties veroorzaakt door de statische mast en gondel en de draaiende wieken (die een Dopplerverschuiving teweegbrengen).

4.2 Het militaire MASS verkeersleidingsradarnetwerk

De primaire radars zijn binnen PERSEUS tot in betrekkelijk hoog detail gemodelleerd, waardoor een beter beeld wordt verkregen van het verlies aan radardekking, zowel in de directe omgeving van het bouwplan als in de schaduw. Door de gedetailleerde modellering van de radar komen eventuele verbeteringen die de radarfabrikant aan kan brengen in de signaalverwerking ook tot uiting in betere prestatie van de primaire radar tegen windturbines. Daarnaast worden in PERSEUS de vijf verkeersleidingsradars opgenomen in één radarnetwerk, waardoor een mogelijk verlies aan detectie van één radar kan worden gecompenseerd door een andere radar in het netwerk. Een voorbeeld van een gecombineerd radardetectiediagram van de verkeersleidingsradars berekend voor een normhoogte van 1000 voet ten opzichte van het maaiveld is gegeven in Figuur 20. De individuele radardetectiekansdiagrammen van de radar te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel en Woensdrecht zijn gecombineerd tot één diagram. Per 1 januari 2017 is daar ook de TAR West bij Schiphol in opgenomen en per 1 januari 2018 ook de extra MASS radar die dit jaar wordt gebouwd op de De Kooy in Den Helder. De rafelige buitenrand wordt veroorzaakt door de schaduw van bebouwing in stedelijke gebieden of door reeds bestaande windturbines.



Figuur 19: Voorbeeld van de individuele radardetectiekansdiagrammen van de zes MASS radars te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel, Woensdrecht en de extra MASS radar bij De Kooy, aangevuld met de TAR West bij Schiphol. De posities van de radars zijn met sterren aangegeven. Door de diagrammen enigszins transparant te maken worden de overlapgebieden zichtbaar waar de radar elkaar kunnen ondersteunen. De paarse stippen zijn de locaties van windturbines in Nederland.



Figuur 20: Voorbeeld van een gecombineerd radardetectiediagram berekend voor een normhoogte van 1000 voet ten opzichte van het maaiveld. De individuele radardetectiekansdiagrammen van de in Figuur 19 afzonderlijk aangegeven radars gecombineerd tot één diagram. De posities van de radars zijn met sterren aangegeven. Rechts is de gehanteerde kleurcode weergegeven. Een groene kleur betekent een detectiekans van 90% of meer.

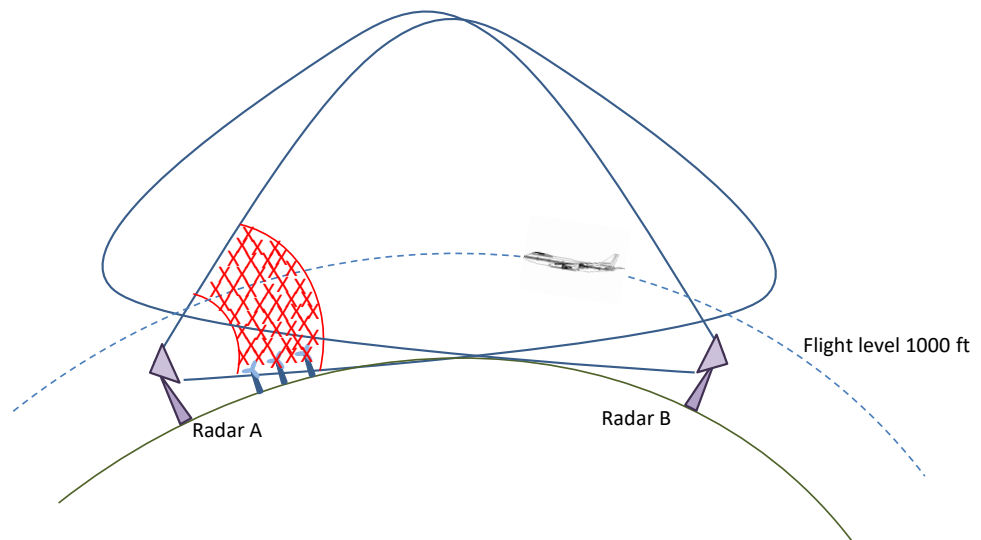
In Figuur 21 is de radardetectiekans boven een bestaand windpark vergroot weergegeven. Aan de lichtere kleuren groen is te zien dat de windturbines een verlaging van de detectiekans ter hoogte van het park veroorzaken. De detectiekans blijft echter binnen de norm van 90% of hoger.



Figuur 21: De radardetectiekans boven de Flevopolder. Aan de lichtere kleuren groen is te zien dat de windturbines een verlaging van de detectiekans ter hoogte van een park veroorzaken. De detectiekans blijft in dit geval echter binnen de norm van minimaal 90%.

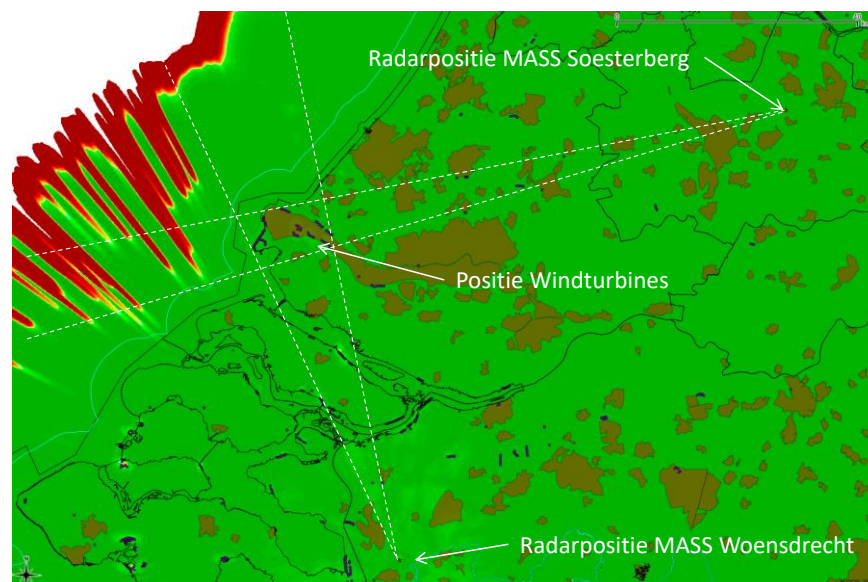
Zoals al eerder aangegeven, worden de MASS radars en de TAR West gecombineerd in één radarnetwerk, waardoor een mogelijk verlies aan detectie van één radar kan worden gecompenseerd door een andere radar in het netwerk. Deze compensatie kan plaatsvinden boven of in de directie nabijheid van de turbines, maar ook in de schaduw achter de windturbine.

Een voorbeeld van het eerste is gegeven in Figuur 22. De radar links op de tekening wordt beïnvloed door een aantal windturbines in de antennebundel. Beïnvloeding is niet alleen direct boven het windpark maar over de gehele vaankvormige openingshoek in elevatie. Voor de radar rechts liggen de windturbines achter zijn horizon, waardoor beïnvloeding boven hetzelfde gebied niet plaatsvindt. Ook bebouwing kan afscherming geven.



Figuur 22: Een voorbeeld hoe radar A, links op de tekening, wordt beïnvloed door een aantal windturbines in de antennebundel. De beïnvloeding is niet alleen direct boven het windpark maar over de gehele vaankvormige openingshoek in elevatie, aangegeven met een rode arcering. Voor de radar B rechts liggen de windturbines achter zijn horizon, waardoor beïnvloeding boven hetzelfde gebied niet plaatsvindt. Ook bebouwing tussen radar B en de windturbines kan afscherming geven.

Een voorbeeld waarbij een tweede radar ondersteuning biedt in de schaduw van de turbines is gegeven in Figuur 23. De schaduw die valt achter de windturbines in Europoort, gezien vanuit de MASS radar bij Woensdrecht, wordt opgevuld door de MASS radar bij Soesterberg.

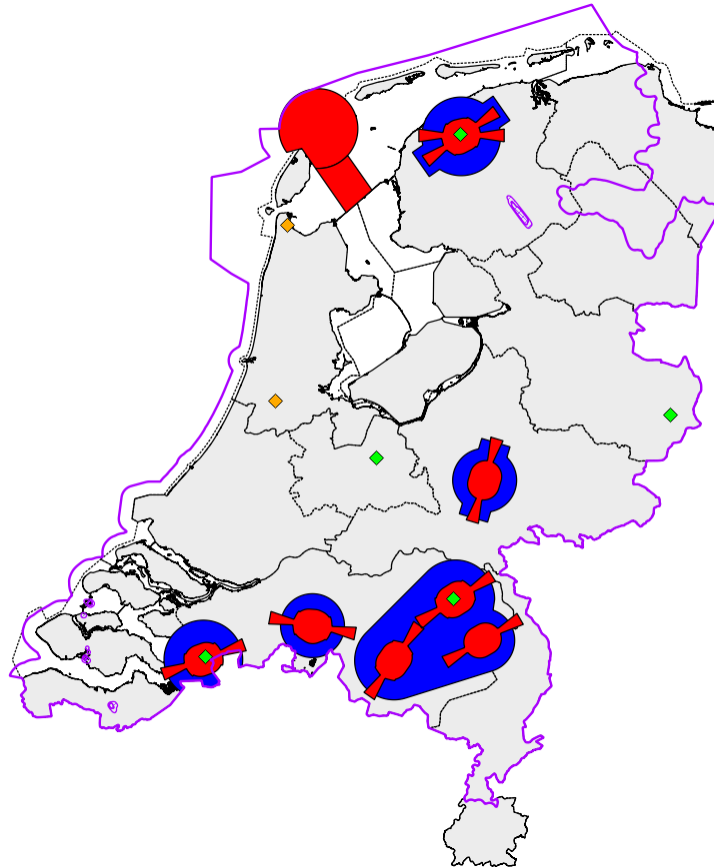


Figuur 23: Een voorbeeld van de extra ondersteuning in de schaduw. De schaduw die valt achter de turbines in Europoort, gezien vanuit de MASS radar bij Woensdrecht, wordt opgevuld door de MASS radar bij Soesterberg, vice versa.

Het radarsimulatiemodel PERSEUS berekent voor elke verkeersleidingsradar de radardetectiekans van een doel met een radardoorsnede van 2 m^2 , fluctuatiestatistiek Swerling case 1, en loos alarmkans 1×10^{-6} . Dit zijn typische

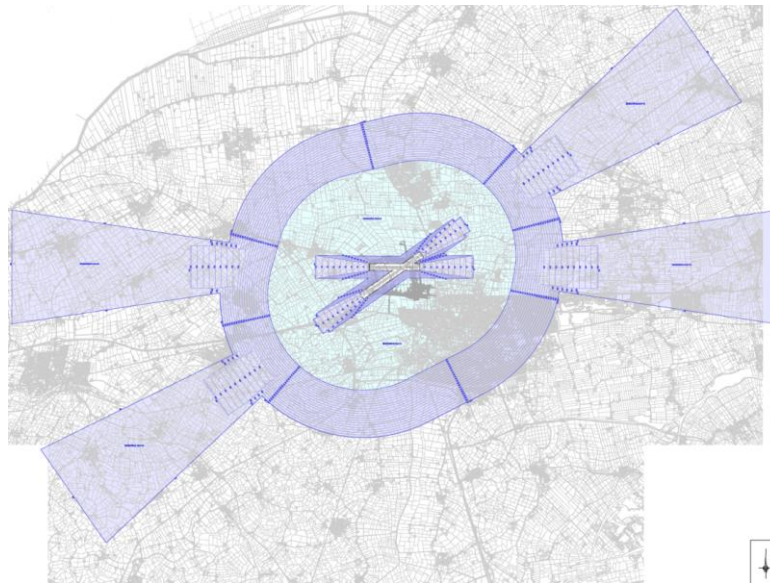
getallen waarmee de detectiekans van een verkeersleidingsradar wordt uitgerekend.

Afhankelijk van de locatie van het bouwplan moet de detectiekans geëvalueerd worden op een normhoogte van 300 voet (91 m), 500 voet (152 m) of 1000 voet (305 m) 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. Binnen deze gebieden dient de radardetectiekans 90% of hoger te zijn. De ligging van de gebieden waar de verschillende normhoogtes gelden, is aangegeven in Figuur 24.



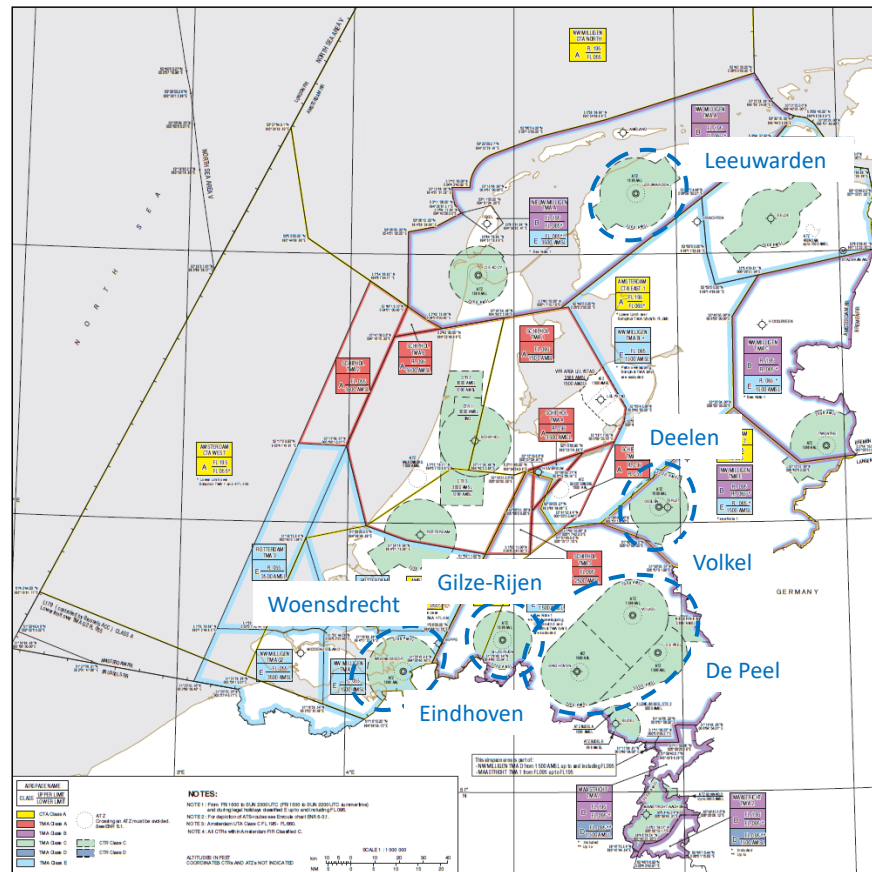
Figuur 24: De ligging van de normhoogtes op 300 voet (rood) en 500 voet (blauw). Op 1000 voet (paars) dient de verkeersleiding radarnetwerk, op enige uitzonderingen na, een landelijke dekking te hebben. Tevens zijn op deze kaart met een groene en oranje markering de locaties aangeven van het verkeersleidingsradarnetwerk bestaande uit zeven radarsystemen.

- De 300 voet normhoogtes liggen rond de militaire vliegvelden, ook wel de *Inner Horizontal Conical Surface* (IHCS) genoemd, aangevuld met de *funnels* die in het verlengde liggen van de start- en landingsbanen. Een uitzondering daarop is het gebied rond het militaire oefengebied bij de Vliehors. Ook daar bevindt zich een 300 voet gebied in verband met laagvliegende militaire vliegtuigen aldaar. Binnen deze IHCS en *funnel* gebieden rond vliegvelden gelden vaak ook maximale bouwhoogtes. Maar deze bouwbeperkingen zijn op basis van andere regels. In de praktijk zullen de radarhindereisen vaak de beperkende factor zijn en zullen de windturbines lager moeten zijn dan de op die locatie geldende bouwhoogtebeperkingen.



Figuur 25: Een voorbeeld van de ligging van de IHCS en *funnels* en de bouwhoogtebeperkingen daarbinnen voor in dit geval de vliegbasis Leeuwarden [Ministerie van Defensie].

- De 500 voet gebieden komen overeen met de *Controlled Traffic Region* (CTR) zones rond de verschillende militaire vliegvelden in Nederland. Dit zijn de gebieden waarbinnen de vliegtuigen manoeuvres uitvoeren na de start of vlak voor de landing. De ligging van deze gebieden is weergegeven in Figuur 26.



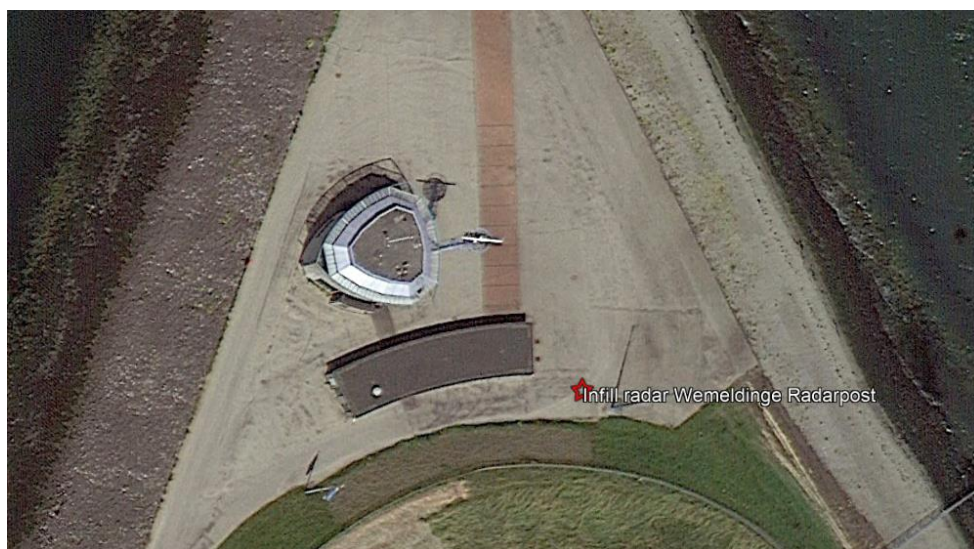
Figuur 26: Het luchtruim boven Nederland met in groen de CTR gebieden om de militaire en civiele vliegvelden. De radarhinderregeling heeft alleen betrekking op de met blauwe stippellijnen aangegeven militaire CTR's. Het CTR gebied rond de voormalige vliegbasis Twenthe, is in 2017 komen te vervallen.

De CTR gebieden rond de civiele vliegvelden, zoals Schiphol, Rotterdam-The Hague en Groningen vallen niet onder deze regeling, maar vallen onder de verantwoordelijkheid van LVNL.

- Op een hoogte van 1000 voet dient er, met enige uitzonderingen, landelijke dekking te zijn en volgen de vliegtuigen in het algemeen rechte routes. Om die reden wordt op deze hoogte een middeling van detectiekansen binnen een cirkel met een straal van 500 m toegepast. Dit is gebaseerd op:
 - De kans dat een vliegtuig zich boven een windturbine bevindt op het moment dat het wordt aangestraald door de ronddraaiende radarantenne;
 - Het feit dat radarsystemen hun doelen blijven volgen ondanks dat er bij één scan geen detectie van het vliegtuig plaatsvindt;
 - Eén omwenteling van de radarantenne 4 seconden duurt;
 - En de verplaatsing van een vliegtuig binnen één antenneomwenteling bij een gemiddelde snelheid van een vliegtuig.

4.3 Een infill radar bij Wemeldinge, Zeeland

De overheid heeft concrete plannen om ter ondersteuning van de huidige radardekking van het primaire verkeersleidingsradarnetwerk in Zuidwest Nederland een extra infill radar te plaatsen. Onderzoek van TNO heeft aangetoond, dat dit het meest effectief kan worden gerealiseerd door de plaatsing van een Scanter 4002 radar van de firma Terma nabij de huidige radarpost Wemeldinge, zie Figuur 27. Deze radar is optimaliseert om op lage hoogte een doel te blijven volgen boven een windpark. Wel heeft de radar een beperkt bereik in zowel afstand van typisch 60-70 km, als hoogte van typisch 8 km en kan dus alleen aanvullend, d.i. als infill, functioneren en kan een bestaande verkeersleidingsradar met een maximum bereik van typisch 110 km en 11 km in hoogte niet vervangen.



Figuur 27 De beoogde locatie van de Scanter 4002 infill radar nabij de radarpost Wemeldinge is weergegeven met een rode ster [Google Earth].



Figuur 28 Een typische opstelling van de Scanter 4002 infill radar van Terma zoals hier opgesteld in het Verenigd Koninkrijk (Foto Terma).

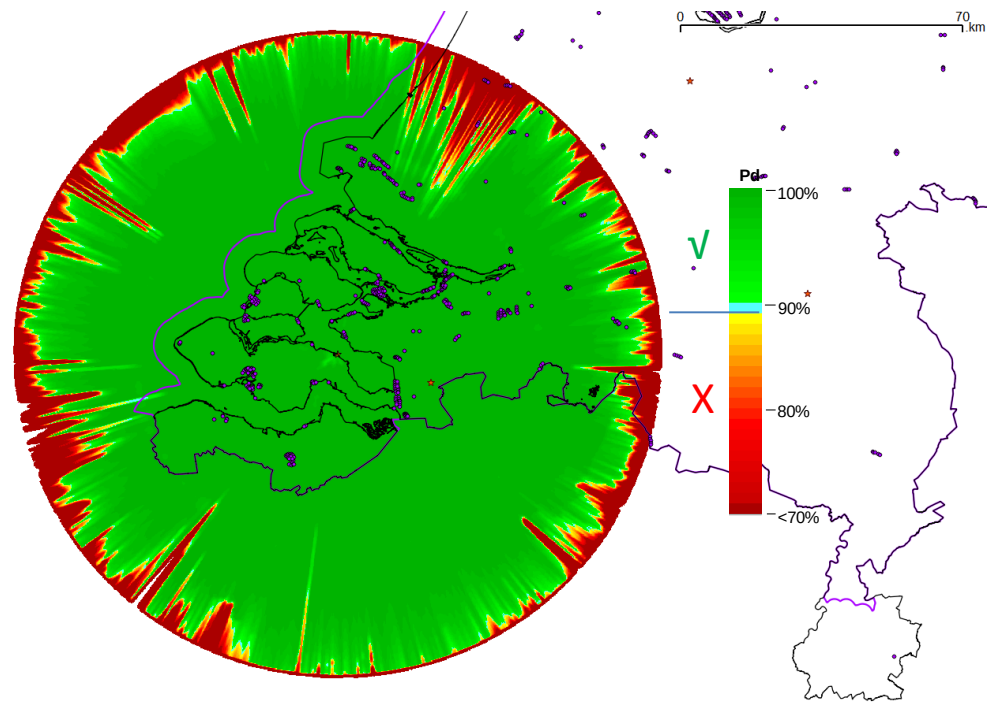
Voor de berekeningen is uitgegaan van een Scanter 4002 radar van Terma. De locatiegegevens van deze radar die aangehouden zijn bij de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Positiegegevens van de Scanter 4002 infill radar te Wemeldinge zoals toegepast bij de berekeningen.

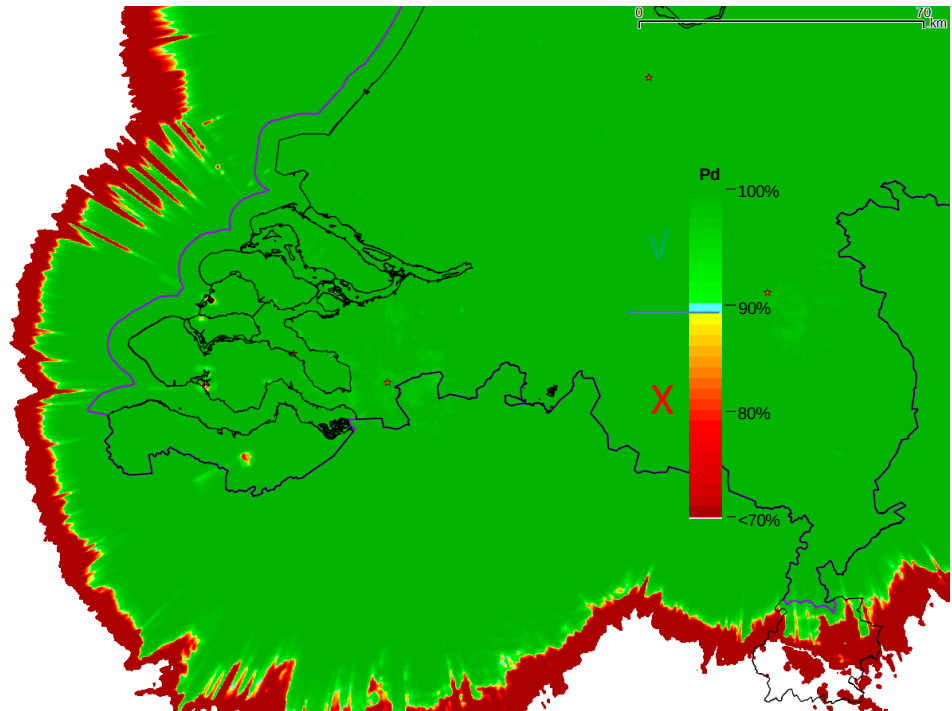
Radar	Coördinaten Rijksdriehoekstelsel		WGS 84 coördinaten		Antennehoogte t.o.v. NAP [m]
	X [m]	Y [m]	Latitude [°]	Longitude [°]	
Scanter 4002 infill radar	137106	427741	51.51748	4.01747	18.0

In Figuur 29 is berekende radarbereik weergegeven van de Scanter 4002 infill radar te Wemeldinge op een doelhoogte van 1000 voet voor de baseline 2018 windturbineconfiguratie. De verbetering van de radardekking die deze radar oplevert boven zuidwest Nederland wordt geïllustreerd door een vergelijking tussen Figuur 30, met alleen de radardekking van de MASS radar en TAR West en Figuur 31 met de aanvulling door de Scanter 4002. Duidelijk is de zien dat de eerdere

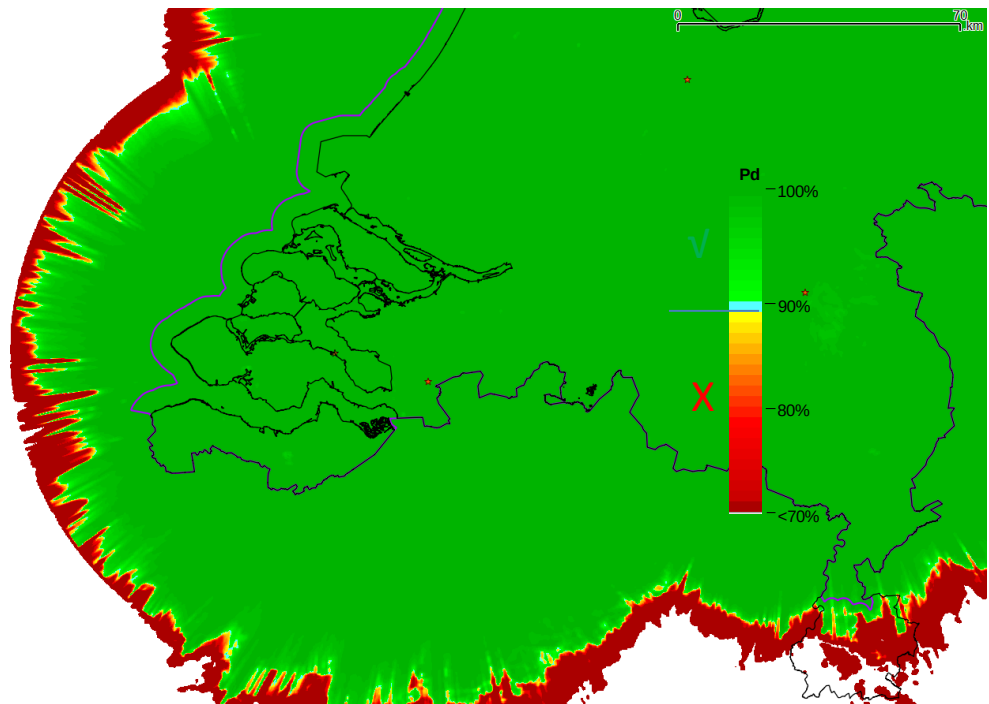
overschrijdingen van de norm boven bijvoorbeeld de windturbines bij de Oosterscheldekering zijn verdwenen na de toevoeging van de Scanter radar.



Figuur 29 Het berekende radarbereik van de Scanter 4002 infill radar te Wemeldinge op een doelhoogte van 1000 voet voor de baseline 2018 windturbineconfiguratie.



Figuur 30 De radardekking boven zuidwest Nederland op 1000 voet berekend met alleen de MASS radars en de TAR West.



Figuur 31 De radardekking boven zuidwest Nederland op 1000 voet berekend met de MASS radars en de TAR West aangevuld met de Scanter 4002 infill radar bij Wemeldinge.

5 Rekenmethode gevechtsleidingsradars

5.1 Bestaande MPR radars

Tot nu toe is alleen de rekenmethode besproken voor de verkeersleidingsradars. In Nederland staan echter ook twee gevechtsleidingsradars, zie Figuur 32.

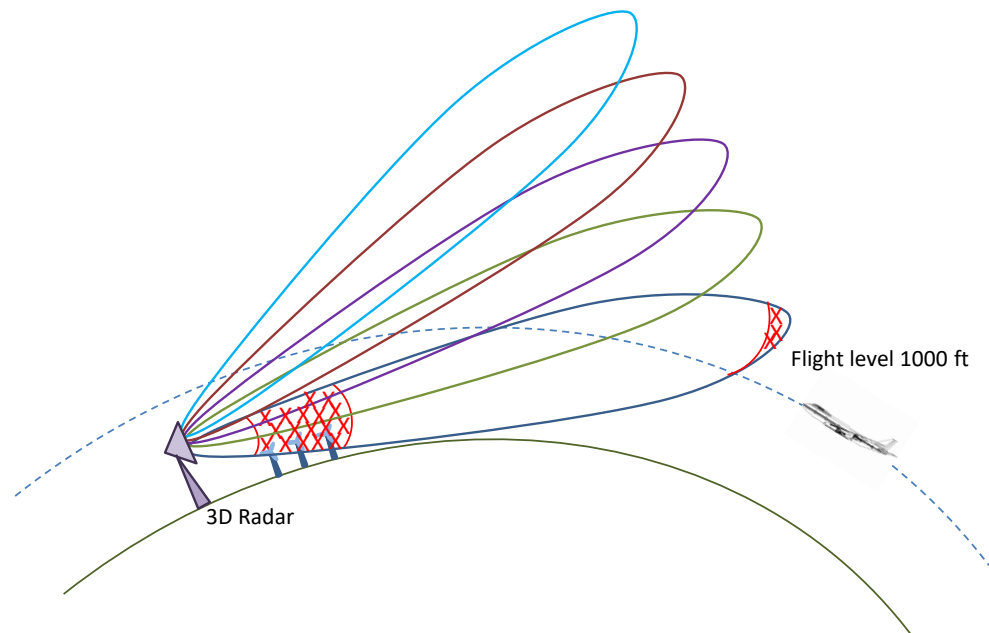


Figuur 32: De MPR gevechtsleidingsradar bij Wier. Rechts de radarantenne in de radome (Bron: Ministerie van Defensie).

In tegenstelling tot het primaire verkeersleidingsradarnetwerk, worden de beide gevechtsleidingsradars afzonderlijk getoetst. Er wordt dus niet uitgegaan van de mogelijkheid tot onderlinge ondersteuning. Aangezien de beide gevechtsleidingsradars kleinere doelen moeten kunnen detecteren, geldt voor deze primaire radars een afwijkende radardoorsnede en Swerling case.¹ Verder geldt er alleen een 1000 voet normhoogte ten opzichte van het maaiveld en normgebied, omdat deze radars niet worden toegepast voor de begeleiding tijdens opstijgen en landen. De gevechtsleidingsradars kunnen naast afstand en peiling ook de hoogte van een lucht doel bepalen. Daarom worden deze radars ook wel 3D radars genoemd.

De hoogte van een doel wordt bij de MPR's bepaald door te ontvangen met een aantal bundels onder verschillende elevatiehoeken. Door de amplitude van een echo in de verschillende bundels te vergelijken, kan de elevatiehoek van het doel worden bepaald, waarna de hoogte kan worden uitgerekend. Dit type radar heeft minder last van de interferentie van windturbines dan de (2D) verkeersleidingsradars, zie Figuur 33. Met name de radardetectie in de onderste donkerblauw gekleurde bundel wordt verstoord door de windturbines. Hogere, vanaf de groen gekleurde bundel hebben in mindere mate last van interferentie van de windturbines. Dit maakt een 3D radar in het algemeen minder gevoelig voor de interferentie van windturbines dan een 2D radar.

¹ Deze gegevens en de daaruit volgende radardetectiekansdiagrammen zijn gerubriceerd en mogen door TNO niet worden vrijgegeven zonder toestemming van het Ministerie van Defensie.



Figuur 33: Antennepatroon van een 3D radar met meerdere ontvangstbundels in elevatie. Alleen de radardetectie in de onderste donkerblauwe gekleurde bundel wordt verstoord door de windturbines. Hogere, vanaf de groen gekleurde bundel, ondervinden geen interferentie van de windturbines, waardoor detectie niet verstoord wordt van in dit voorbeeld een vliegtuig vliegend op 1000 voet boven het maaiveld.

5.2 Het MPR vervangingsprogramma

De beide gevechtsleidingsradars zullen binnenkort worden vervangen door de SMART-L EWC-GB radar, waarbij de radarlocatie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen, zie Figuur 33, en is daarom per 1 juli van 2016 in de Rarro opgenomen. Nadat de nieuwe radar in Herwijnen operationeel wordt, zal de radar te Nieuw Milligen uit dienst worden gesteld. De termijn waarop dat gaat plaatsvinden is nog onbekend.

Met ingang van 1 januari 2018 wordt nu al wel in de PERSEUS berekeningen voor gevechtsleidingsradars te Wier en Herwijnen de SMART-L EWC GB radar toegepast, zoals deze op dit moment bekend is bij TNO. Omdat de nieuwe radar bij Wier naast de oude MPR radartoren zal worden gebouwd is nu ook reeds gerekend met de nieuwe coördinaten en antennehoogte zoals vermeldt in Tabel 1.



Figuur 34: Een *artist impression* van de nieuwe SMART-L EWC GB radar bij Herwijnen (Bron: Thales Nederland).

6 Modelling windturbine

6.1 Realistische fabrieksmodellen

Bij het modelleren van de radarreflectie en schaduwwerking wordt gebruik gemaakt van de feitelijke afmeting van de windturbine. Van deze afmetingen worden de gegevens afgeleid ten behoeve de modellering binnen PERSEUS. Het is ook om die reden dat TNO de beschikking dient te krijgen van een 3D CAD (Computer Aided Design) tekening van de turbine waarop alle buitenmaten van de turbine zichtbaar zijn. De wieken dienen op de tekening in de representatieve werkstand te staan. De opdrachtgever is verantwoordelijk voor het beschikbaar stellen van dit bestand aan TNO. TNO heeft ondertussen een aantal *non-disclosure agreements* afgesloten met de meest bekende windturbine fabrikanten en kan eventueel buiten de opdrachtgever om het bestand opvragen. De opdrachtgever blijft echter verantwoordelijk voor het feit dat de informatie bij TNO beschikbaar komt. 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.

De maatvoeringen van de windturbine die voor de juiste modellering belangrijk zijn, zijn weergegeven in Tabel 3.

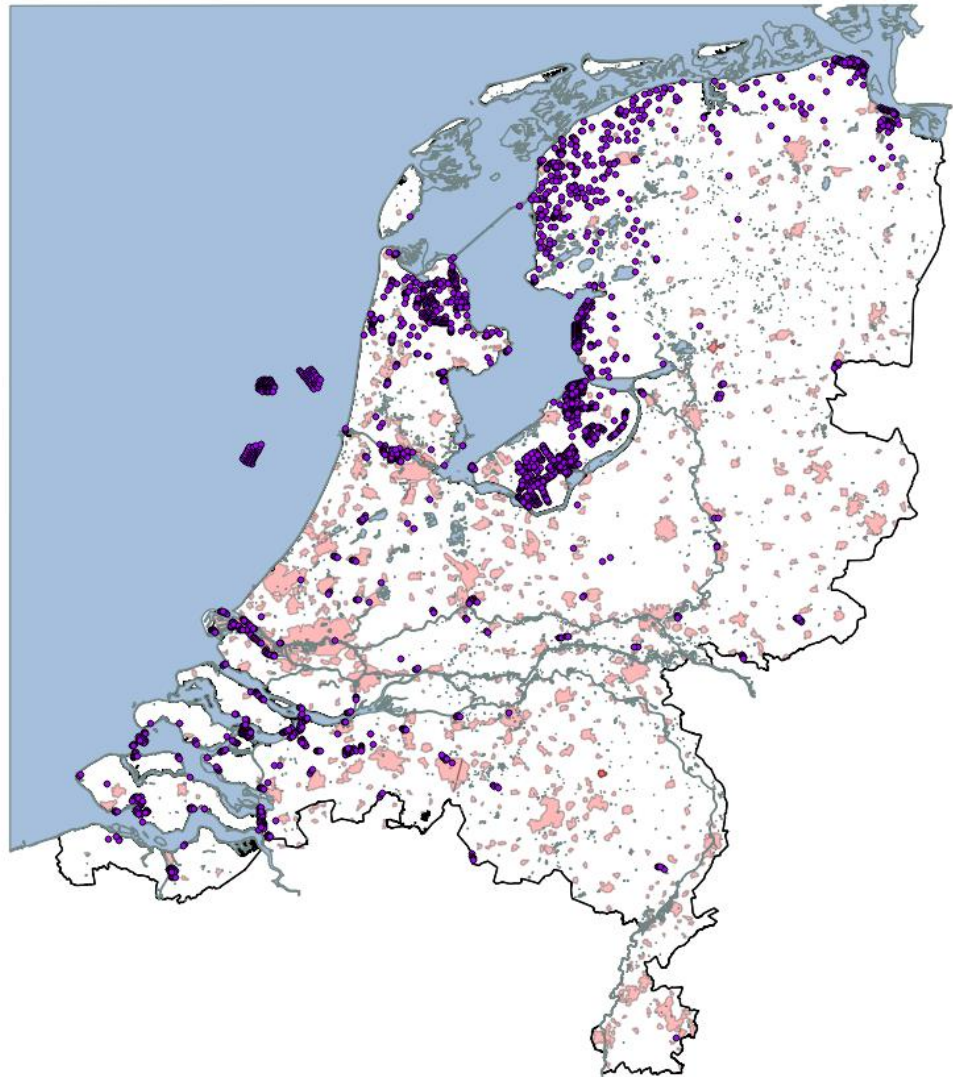
Tabel 3: Een overzicht van de afmetingen van de windturbine zoals deze wordt toegepast in PERSEUS

Onderdeel	Afmeting [m]
Ashoogte	—'—
Tiphoogte*	—'—
Breedte gondel	—'—
Lengte gondel	—'—
Hoogte gondel	—'—
Diameter mast onder	—'—
Diameter mast boven	—'—
Lengte mast	—'—
Lengte wiek	—'—
Breedte wiek	—'—

* Afgeleid van ashoogte en wielengte

PERSEUS houdt ook rekening met de reeds in Nederland geplaatste windturbines. Het zogenaamde baselinebestand van meer dan tweeduizend windturbines wordt elk jaar op 1 januari vastgesteld en blijft dat komende jaar de baseline waarmee getoetst wordt. Zo blijft het bestand actueel. Voor de samenstelling van alle turbines in Nederland wordt gebruik gemaakt van het windturbinebestand van Windstats.nl. De voor de simulatie noodzakelijke afmetingen van de windturbines zijn, volgens een door Defensie goedgekeurde methode, afgeleid van de in dit bestand opgenomen gegevens, zijnde fabrikant, opgewekt vermogen, ashoogte en

rotordiameter. In Figuur 35 worden de locaties van alle turbines (situatie 1 januari 2018) uit dit bestand getoond.



Figuur 35: Het Baseline windturbinebestand van 1 januari 2018 bestaand uit in totaal 2293 windturbines verspreid over Nederland op land en op zee (Bron: www.windstats.nl).

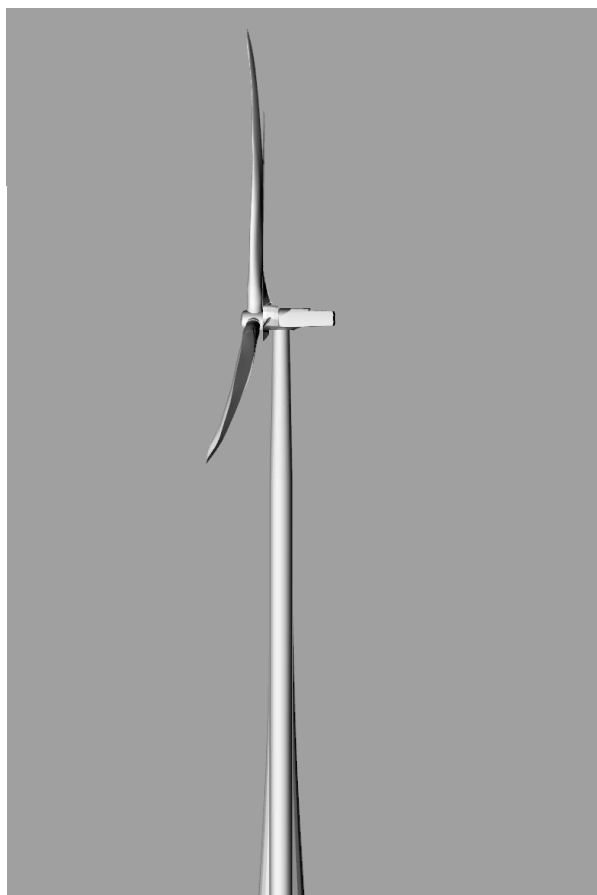
6.2 TNO *worst-case* turbine

Zoals eerder aangegeven, zijn de berekeningen gerelateerd aan een specifiek windturbine fabrikant en type. In niet alle gevallen zal het mogelijk zijn om in een vroege fase van een project een specifiek windturbintype vast te leggen. Voor die gevallen heeft TNO de beschikking over een aantal *worst-case* turbines.

TNO bepaalt, op basis van een opgewekt vermogen, de *worst-case* buitenafmetingen van de mast, gondel en wieken uit de reeks turbines die TNO op dat moment in haar bestand heeft uit de gewenste vermogensklasse. Deze afmetingen kunnen aangevuld worden met een door de opdrachtgever te bepalen maximum rotordiameter en ashoogte. Deze turbines zijn er in verschillende vermogensklassen:

- 2 MW klasse, samengesteld uit turbines met een opgewekt vermogen van 1.5 t/m 2.4 MW
- 3 MW klasse, samengesteld uit turbines met een opgewekt vermogen van 2.5 t/m 3.4 MW
- 4 MW klasse, samengesteld uit turbines met een opgewekt vermogen van 3.5 t/m 4.4 MW
- 5-6 MW klasse, samengesteld uit turbines met een opgewekt vermogen van 4.5 t/m 6.4 MW
- 7-8 MW klasse, samengesteld uit turbines met een opgewekt vermogen van 6.5 t/m 8 MW

Met deze *worst-case* windturbinedefinitie kan een toetsing worden uitgevoerd. Indien er geen overschrijding plaatsvindt van de norm, is de ontwikkelaar in principe vrij in het maken van een fabrikant en type keuze, mits binnen de vermogensklasse, de maximum rotordiameter en ashoogte wordt gebleven. Indien de norm wel wordt overschreden, dan kan voor een toetsing alleen een realistisch type worden geselecteerd.



Figuur 36: Een visualisatie van een worst-case turbine, samengesteld uit diverse type windturbines.

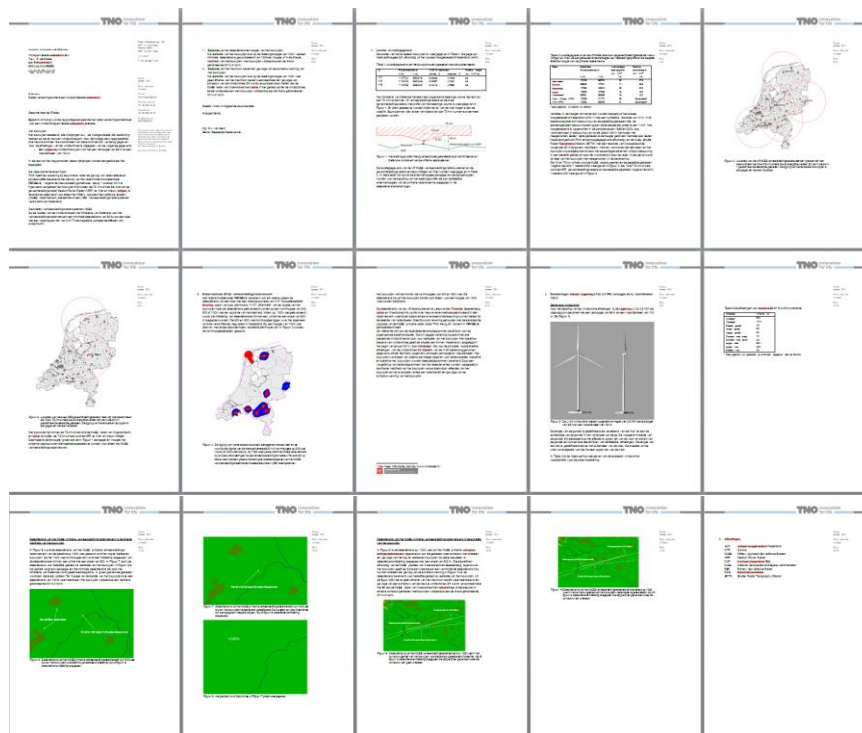
7 Rapportage

7.1 Introductie

Een radarhindertoetsing kan een vereiste zijn in de bouwvergunningsprocedure en/of kan nodig zijn voor een wijziging van het bestemmingsplan.

De resultaten in de rapportage zijn gebaseerd op het vigerende beleid over verstoringsgebieden rond militaire radarsystemen van het Ministerie van Defensie, zoals opgenomen in de regels onder het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro) van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, van 31 augustus 2012, nr. IENM/BSK-2012/30229, tot wijziging van de Regeling algemene regels ruimtelijke ordening, zoals gepubliceerd in de Staatscourant nummer 18324 van 7 september 2012. Zie ook: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2012-18324.html>. Met de introductie van de nieuwe gevechtsleidingsradar locatie te Herwijnen is op 13 juni 2016 hier een aanvulling op gepubliceerd. Zie ook: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2016-29608.html>

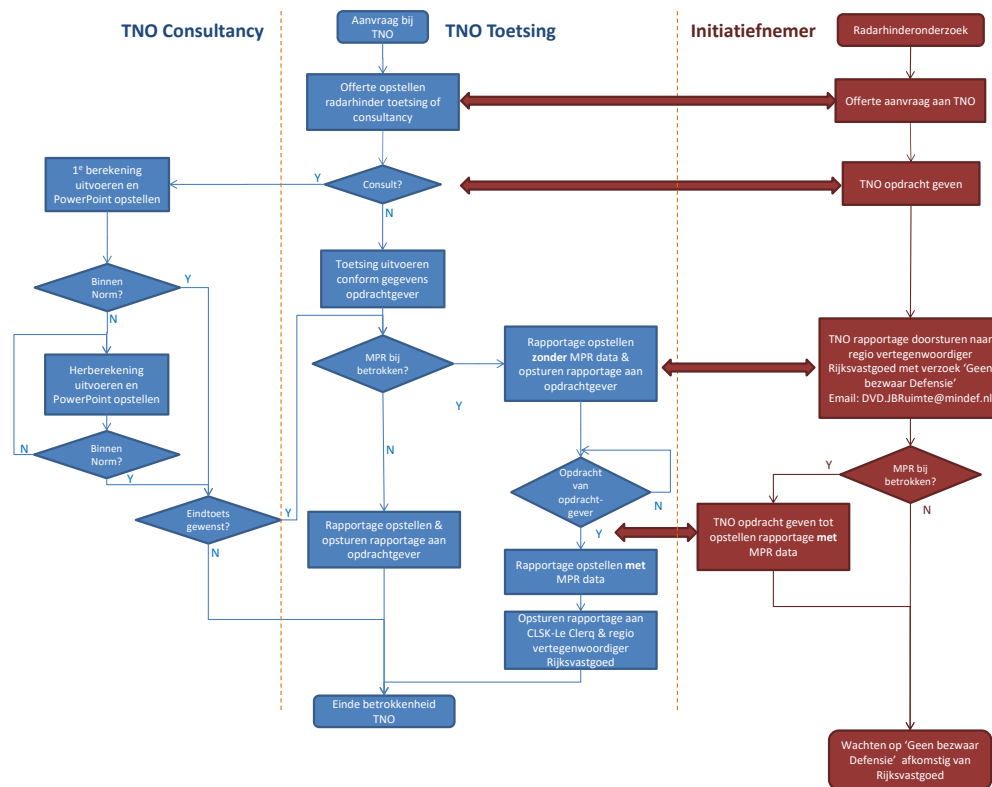
De uitkomst van een radarhindertoetsing is een rapportage in briefvorm (zie Figuur 37) in de vorm van radardetectiekans diagrammen, waarin de verstoring zichtbaar wordt van deze detectiekans ten gevolge van het bouwplan. In verband met de rubricering van de detectiediagrammen van de gevechtsleidingsradars, zullen deze niet in de rapportage worden toegevoegd, maar zal alleen aangegeven worden of na realisatie van het bouwplan nog steeds aan de minimale eis wordt voldaan. De detectiediagrammen van de gevechtsleidingsradars zullen na toestemming van de opdrachtgever alleen rechtstreeks naar Defensie worden verstuurd.



Figuur 37: Voorbeeld van een rapportage in briefvorm.

7.2 Uit te voeren handeling initiatiefnemer bij radarhinderonderzoek

In Figuur 38 is een flowdiagram gegeven met daarin de handelingen die door een initiatiefnemer dient te worden uitgevoerd voor het verkrijgen van een verklaring van geen bezwaar bij defensie. Daarnaast zijn ook de processen aangegeven die binnen TNO plaatsvinden naar aanleiding van een verzoek van een initiatiefnemer tot het uitvoeren van een radarhinder onderzoek of toetsing. In principe voert TNO een onderzoek alleen uit in opdracht van de initiatiefnemer. Dat onderzoek kan bestaan uit een consultancy, waarbij TNO de opdrachtgever ondersteunt bij een zo optimaal mogelijk oplossing, of een formele toetsing. Bij dit laatste wordt door TNO een rapportage opgesteld die wordt verzonden naar de opdrachtgever. Aan de hand van een aantal berekende radardekkingsdiagrammen voor en na de realisatie van een bouwplan wordt bepaald of de norm wel of niet overschreden wordt. De opdrachtgever dient zelf zorg te dragen voor de verdere aanvraag tot geen bezwaar bij Defensie.



Figuur 38: Overzicht van radarhinderonderzoek bij TNO (blauw) en de handelingen die door een initiatiefnemer (roodbruin) dienen te worden uitgevoerd om een verklaring van geen bezwaar te verkrijgen van defensie.

De aanvraag voor een beoordeling, met bijvoeging van het TNO-rapport, dient te worden gericht het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Rijksvastgoedbedrijf, Directie Vastgoedbeheer, Afdeling Klant- en Vastgoedmanagement, Sectie Omgevingsmanagement, Cluster Ruimte, Postbus 16169, 2500 BD Den Haag of emailadres;

Postbus.RVB.Omgevingsmanagement@rijksoverheid.nl. Zij monitoren de voortgang van de aanvraag en verzorgen de doorzending van het rapport naar de verantwoordelijke personen binnen het Commando Luchtmacht (CLSK). Aangezien de radardekkingsdiagrammen van de gevechtsleidingsradars gerubriceerd zijn, worden deze niet in de rapportage aan de opdrachtgever opgenomen. Deze diagrammen worden alleen opgenomen in een separate rapportage aan alleen defensie. Het opsturen van deze rapportage naar defensie gebeurt echter pas na verzoek van de opdrachtgever. Hiervoor zijn geen extra kosten verbonden.

CLSK bepaalt de aanvaardbaarheid van de verstoring. Men hanteert daarbij een detectiekans van minstens 90% op een specifieke hoogte (300, 500 of 1000 voet, afhankelijk van de positie van het bouwplan). Voorts moet de totale radardekking in het 1000 voet toetsvlak, boven Nederland, behouden blijven.

7.3 Noodzakelijke gegevens voor het uitvoeren van toetsingen

1. De opdrachtgever levert aan TNO de beoogde locatie(s) van de object(en) in het bouwplan. Locatiegegevens worden door de opdrachtgever naar keuze aangeleverd in de vorm van coördinaten in het rijksdriehoekstelsel of in lengtegraad/breedtegraad coördinaten bij voorkeur in het WGS84 datum.

2. De opdrachtgever levert aan TNO per locatie de hoogte van bovenzijde van de fundatie van de turbine, in NAP.
3. De opdrachtgever levert aan TNO per locatie het type object waarvan de radarverstoring bepaald dient te worden.
4. De opdrachtgever levert aan TNO de technische 3D CAD tekening(en) van de buitenkant van de object(en) waarvan de radarverstoring bepaald dient te worden.
5. Indien TNO reeds beschikt over de 3D CAD tekening(en) van de betreffende windturbine(s), dan hoeft deze tekening niet nogmaals geleverd te worden. Ter verificatie dat de juiste turbine wordt gemodelleerd, levert de opdrachtgever aan TNO een technische tekening van de buitenkant van de windturbine(s) waarvan de radarverstoring bepaald dient te worden. Deze tekening dient maatvoeringen te bevatten met een nauwkeurigheid van 0,1 meter.
6. Indien gebruik wordt gemaakt van de TNO *worst-case* turbine, dan dient de opdrachtgever alleen de toe te passen vermogensklasse, maximale ashoogte en rotordiameter te leveren.

7.4 Kosten, doorlooptijden en voorwaarden

De maximale doorlooptijd van een standaard toetsing bedraagt drie weken. De kosten bedragen € 3000,- excl. btw, prijspeil 2018. Dit bedrag is per situatie, dus voor één combinatie van een aantal windturbinelocaties, type turbine, ashoogte, en radar. Als het bouwplan zich zowel binnen de 75 km cirkel van één van de MASS verkeersleidingsradars bevindt en ook binnen de 75 km cirkel van één van de MPR gevechtsleidingsradars, dan moeten er twee toetsingen worden uitgevoerd. De kosten die in die situatie wordt berekend zijn € 5000,- excl. btw, prijspeil 2018. Het gehele bedrag dient bij aanvang van de opdracht te worden voldaan. Voor een windturbinepark bestaande uit meer dan vier turbines geldt een meerprijs. De kosten voor het uitvoeren van een herberekening of iteratie bedragen tussen de €500,- en €750,- excl. btw. De werkzaamheden worden uitgevoerd onder de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO', van juli 2017, zoals gedeponeerd bij de Rechtbank te Den Haag en de Kamer van Koophandel Haaglanden. In tegenstelling tot wat staat vermeld in de voorwaarden op gebied van geheimhouding, behoudt TNO zich het recht voor overleg te voeren met het Ministerie van Defensie over het onderhavige bouwplan. Voordat dit daadwerkelijk gebeurt, zal dit worden gemeld aan de opdrachtgever. Bij weigering zal door TNO geen verdere actie ondernomen worden en zal de opdracht niet verder uitgevoerd worden.

8 TNO in de adviserende rol

8.1 Militaire luchtverkeers- en gevechtleidingssradars

Naast de taak van het formeel beoordelen van een bouwplan op mogelijke radarhinder heeft het Ministerie van Defensie TNO toestemming gegeven om in een adviserende rol samen met een ontwikkelaar te komen tot een optimale inpassing van een bouwplan, rekening houdend met radarhinderaspecten. Op basis van overleg tussen de opdrachtgever en TNO zal een initieel uitgangspunt worden gedefinieerd, waarvoor TNO een offerte opstelt. Na een schriftelijk akkoord van de ontwikkelaar zal dit initiële uitgangspunt worden doorgerekend met PERSEUS. De resultaten zullen in verschillende diagrammen worden verzameld in een PowerPoint presentatie, zie Figuur 39. In deze presentatie zullen eveneens de uitgangspunten worden vermeld.

Als de (tussen)resultaten nog niet aan de eisen voldoen, kan in overleg met of op advies van TNO door de opdrachtgever besloten worden tot een vervolgstap. Deze vervolgstap maakt geen onderdeel uit van een initiële offerte, maar wordt gefactureerd op basis van meerwerk. In overleg kan per geval uiteraard hierop afgeweken worden.



Figuur 39: Voorbeeld van een PowerPoint presentatie met daarin de resultaten van een radarhinderonderzoek

8.2 Scheepsradars en VTS systemen

Naast de luchtverkeers- en gevechtsleidingsradars kunnen ook scheepsradars en de walradars van een Vessel Traffic Services (VTS) keten langs rivieren en langs de kust hinder ondervinden van windturbines. De hinder wordt daarbij niet veroorzaakt door de Doppler reflecties van de draaiende wieken, maar door normale statische reflecties. Daarbij gedraagt een windturbine zich niet anders dan andere obstakels langs de vaarwegen. Een windturbine kan drie effecten veroorzaken op een scheeps- of walradar.

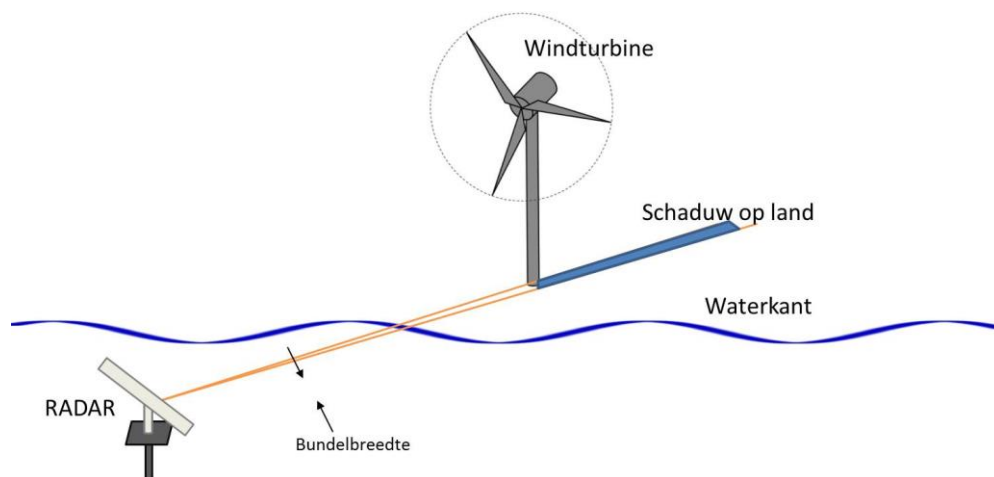
- Vermindering van de radardetectie achter een windturbine ten gevolge van de schaduwwerking van de turbine
- Schijn- of spookdoelen ten gevolge van reflecties
- Reflecties van de wieken boven het vaarwater

TNO is in staat beide effecten in kaart te brengen en te bepalen in hoeverre deze ook daadwerkelijk verstoring kunnen opleveren. Binnen dit onderzoek worden, indien mogelijk, ook oplossingen aangedragen.

8.2.1 *Schaduwwerking*

De radar kan niet door de mast heen kijken. Achter de mast ontstaat een gebied waar niets wordt waargenomen, het schaduwgebied. Dit effect treedt overigens ook

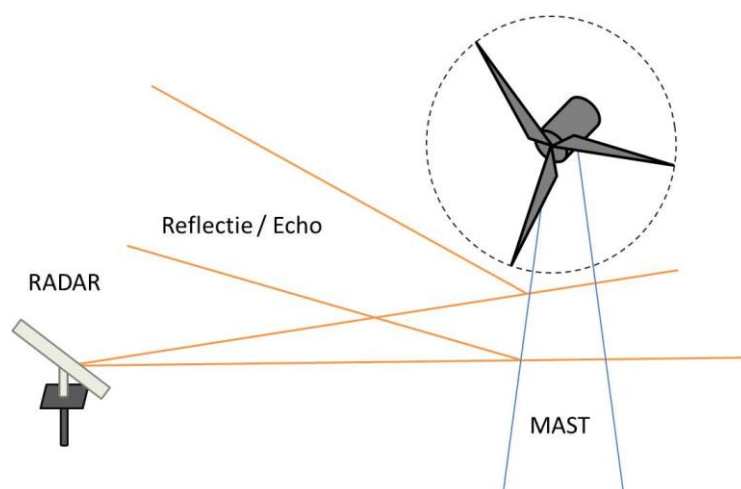
op bij iedere andere vorm van bebouwing. Gezien vanuit de radar ligt deze schaduw doorgaans op het land, zie Figuur 40.



Figuur 40: Schaduwwerking van de windturbine

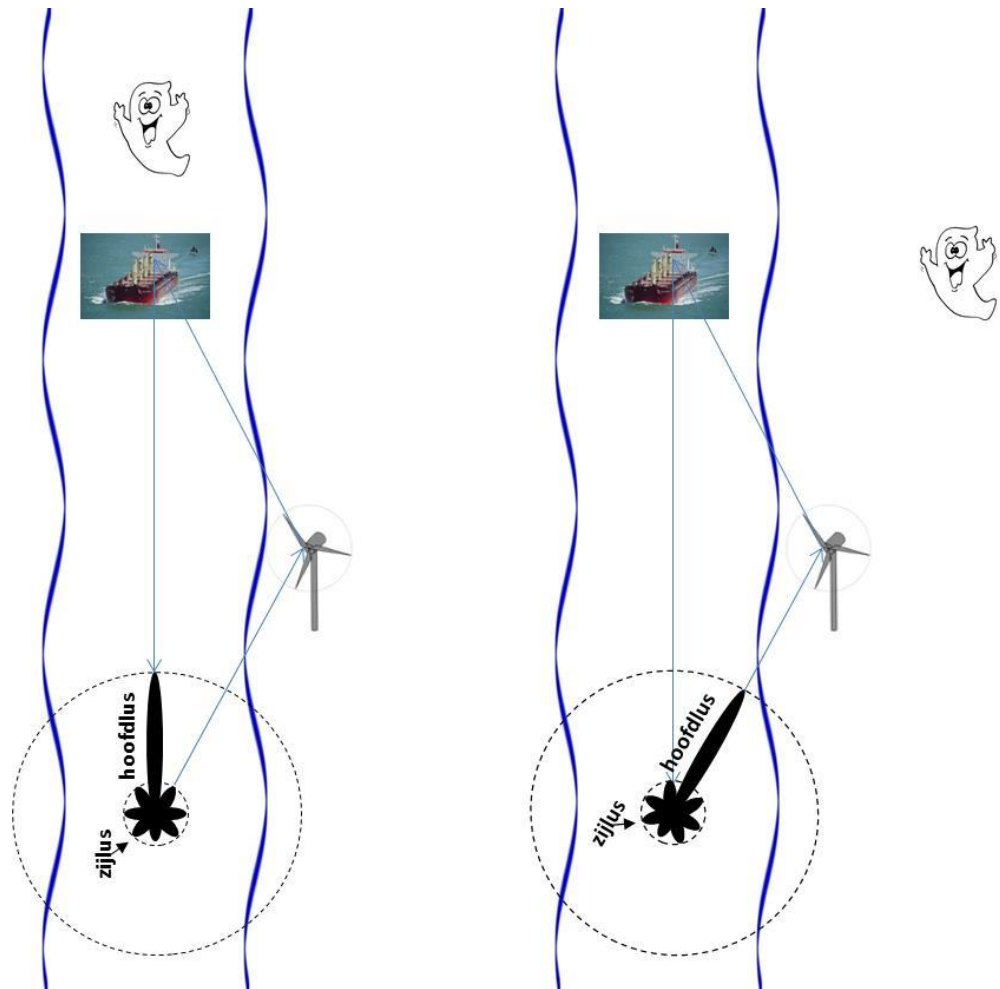
8.2.2 Schijn- of spookdoelen

De windturbine reflecteert radar energie en produceert daarmee echo's. De mast loopt vrijwel altijd taps naar boven, waardoor de radar zendenergie ook naar boven wordt gereflecteerd en niet door de antenne zal worden opgevangen. Daardoor zal de mast slechts beperkt op de radar zichtbaar zijn, zie ook Figuur 41.



Figuur 41: Reflectie aan de mast.

Een spookdoel ontstaat als de radarstraal achtereenvolgens door twee objecten gereflecteerd wordt. De radarpuls wordt gereflecteerd door de windturbine en vervolgens door bijvoorbeeld een bulkcarrier of een groot containerschip.



Figuur 42: Het ontstaan van spookdoelen achter het echte doel (links) of achter de windturbine of ander obstakel dicht langs de waterweg.

In het linkerdeel van Figuur 42 wordt de puls uitgezonden via de zijlus, wat een verlies op levert van 25 dB of meer (-25 dB is de minimum eis voor het zijlusniveau). Via de bulkcarrier of containerschip komt de puls terug bij de radar en wordt via de hoofdlus ontvangen. De afgelegde weg voor deze radarpuls is groter dan de echo die rechtstreeks door de bulkcarrier wordt teruggekaatst, dus verschijnt het spookdoel in de richting van de bulkcarrier, maar op een grotere afstand (Een radar “ziet” objecten altijd in de richting van de hoofdlus).

In het rechterdeel van Figuur 42 wordt de puls uitgezonden via de hoofdlus. Via de bulkcarrier komt de puls terug bij de radar en wordt via de zijlus ontvangen, wat een verlies van 25 dB of meer oplevert. Het spookdoel verschijnt nu achter de windturbine of ander groot obstakel vlak langs de vaarweg.

De uitgezonden radarpuls volgt tegelijkertijd ook de tegenovergestelde richting, dus reflecteert eerst tegen de bulkcarrier en daarna tegen de windturbine. Dit levert hetzelfde spookbeeld op.

De reflectie aan windturbine en bulkcarrier moeten groot zijn, om het verlies van meer dan 25 dB op te vangen. Van de windturbine weten we dat de RCS in de grootte orde van 10.000 m² kan liggen, de bulkcarrier kan wel 50.000 m² zijn. Reflecties van een windturbine kunnen valse echo's of spoekecho's veroorzaken op het radarbeeldscherm. Een radar neemt objecten waar door het zenden en vervolgens weer ontvangen van radiostraling. De uitgezonden radiostraling reflecteert aan objecten, als het weerkaatste vermogen groot genoeg is neemt de radar een object weer. Het kan echter ook voorkomen dat de reflectie via een andere route terugkomt bij de radarantenne. De straling reflecteert dan op eerst op een tweede object en komt dan weer terug bij de antenne. Als het gereflecteerde vermogen groot genoeg is zal de radar deze reflectie ook waarnemen als object. Dit wordt een spoekecho of schijndoel genoemd. Het schijndoel bevindt zich achter het daadwerkelijk waar te nemen object omdat de tweemaal gereflecteerde straling een langere weg aflegt en er dus ook langer over doet om de radar antenne weer te bereiken. Als het uitgezonden signaal eerst het obstakel raakt, dan het doel en vervolgens terugkaatst naar de radar, zal het schijndoel zich dus achter het obstakel bevinden. Een schijndoel kan alleen ontstaan als er ook werkelijk doel is.

8.2.3 *Reflecties van de wieken boven de vaarweg*

Het tweede effect wat een windturbines kan veroorzaken is de verstoring van het radarbeeld van scheepsradars ten gevolge van reflecties aan de rotors van de windturbine.

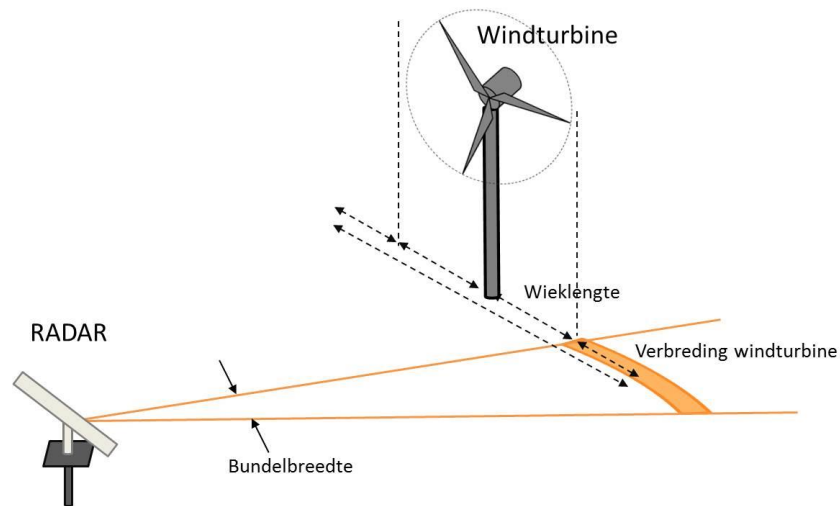
Het kleinste object dat een radar waar kan nemen, de minimaal waarneembare object grootte, hangt af van een groot aantal parameters zoals het vermogen van de zender, de duur van de puls, de herhalingsfrequentie, de afstand tot het object en de gevoeligheid van de ontvanger. Een objectgrootte wordt uitgedrukt in een Radar Cross Sectie (RCS), die de eenheid vierkante meters heeft. Voor scheepsradars is de minimaal waarneembare objectgrootte typisch enkele vierkante meters.

De reflectie van de straling van de radar op de wieken van de windturbine hangt sterk af van de stand van de wieken. Als een groot deel van het oppervlak van de wieken op de radar is gericht dan zal dit oppervlak de straling rechtstreeks terug reflecteren naar de antenne van de radar. Het punt dat het sterkst reflecteert kan verschuiven van tip naar as van de wiek. Dit sterk reflecteren van de wieken wordt 'blade flash' genoemd. Deze blade flash is vergelijkbaar met het verblind worden door een spiegelend oppervlak. De intensiteit van deze blade flash kan een orde grootte hebben van 10.000 m².

De bundelbreedte van de radar antenne bepaalt wat het onderscheidend vermogen van een radar in de dwarsrichting is. Als twee objecten meer dan deze bundelbreedte uit elkaar staan dan zijn deze objecten afzonderlijk van elkaar waar te nemen.

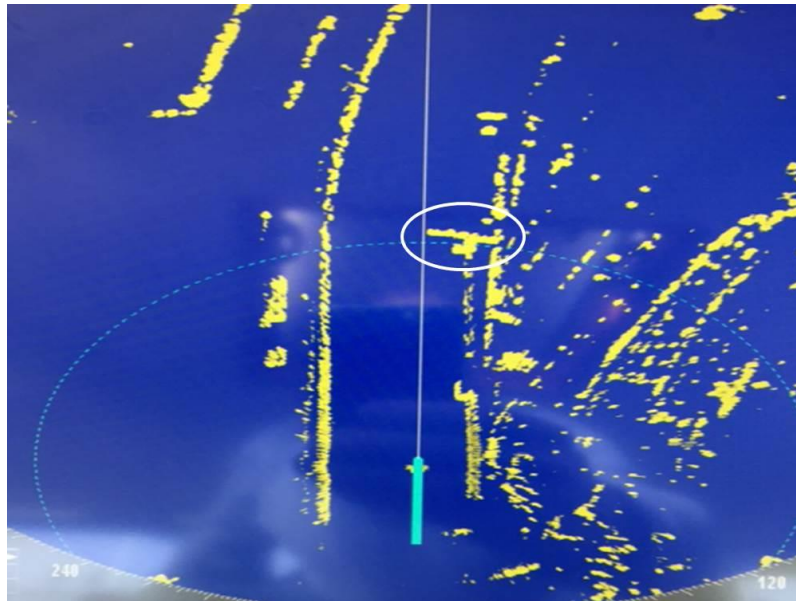
Er bestaan wettelijke eisen voor de bundelbreedtes van radars die op binnenvaartschepen geplaatst worden. De -3dB bundelbreedte van een binnenvaartscheepsradar mag maximaal 1.2° zijn. De -20dB bundelbreedte maximaal 3°. Op een scheepsradar kan een blade flash met een intensiteit van 10.000 m² worden weergegeven als een boog van 3°. Als zich een blade flash voordoet op de punt van de wiek betekent dit dat aan weerszijden van de wiek

onder een hoek van 1.5° de echo van het blad op de radar wordt verlengd, zie Figuur 43. Hierdoor kan de wiek als een extra doel of obstakel zichtbaar worden in de vaarweg, terwijl de wieken fysiek nog niet over de vaarweg draaien. Bij minder of slecht zicht zou een schipper van het schip kunnen besluiten nodeloos af te remmen of uit te wijken.



Figuur 43: Illustratie van doelverbreiding vanwege reflecties op de wiek van een windturbine.

Een voorbeeld hoe de reflecties van een wiek zich op een radarbeeld kunnen manifesteren als een reflectie boven het vaarwater is gegeven in Figuur 44.



Figuur 44: Verbreding windturbine in de praktijk langs het Hartelkanaal. De windturbine is zichtbaar in de witte cirkel. De windturbine staat op de waterlijn, dus de wieken reiken in dit voorbeeld ook zonder verbreding al over de vaarweg.

8.3 Communicatie verbindingen

Naast radar kunnen ook communicatieverbindingen, zoals bijvoorbeeld de Marifoon, hinder hebben van windturbines. Ook deze hinder kan door TNO in kaart worden gebracht en worden aangegeven in hoeverre deze hinder de werkbaarheid van de communicatiekanalen kan beïnvloeden. Ook hier gedraagt een windturbine zich niet anders dan een ander obstakel in het pad tussen de communicatie zender en ontvanger.

9 Afkortingen

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
AOCS	Air Operations Control Station
Barro	Besluit algemene regels ruimtelijke ordening
CAD	Computer Aided Design
CLSK	Commando Luchtstrijdkrachten
CTR	Controlled Traffic Region
EWC-GB	Early Warning Capability Ground Based
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
MASS	Military Approach Surveillance System
MPR	Medium Power Radar
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PERSEUS	Program for the Evaluation of Radar Systems in an Extended Urban Setting
PSR	Primary Surveillance Radar
RADAR	Radio Detection And Ranging
Rarro	Regeling algemene regels ruimtelijke ordening
RCS	Radar Cross Section of het radar reflecterend oppervlak
RDS	Rijksdriehoeksstelsel
RVO	Rijkdienst voor Ondernemend Nederland
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSR	Secondary Surveillance Radar
TAR	Terminal Approach Radar
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VTS	Vessel Traffic Service

10 Handige links en adressen

PERSEUS pagina op TNO site:

<https://www.tno.nl/perseus/>

Contactadres Rijksvastgoedbedrijf:

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Rijksvastgoedbedrijf,
Directie Vastgoedbeheer, Afdeling Klant- en Vastgoedmanagement, Sectie
Omgevingsmanagement, Cluster Ruimte
Postbus 16169
2500 BD Den Haag

Postbus.RVB.Omgevingsmanagement@rijksoverheid.nl

RVO site wind op land:

<http://www.windenergie.nl/62/onderwerpen/milieu-en-omgeving/radar>.

Barro in Staatscourant van 7 september 2012 en de aanvulling daarop van 13 juni 2016 i.v.m. de introductie van radarlocatie Herwijnen:

<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2012-18324.html>.

<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2016-29608.html>

Laagvlieggebieden en -routes Defensie:

<http://www.defensie.nl/onderwerpen/geluidsoverlast/inhoud/geluidhoeveelheid-en-vlieghoogten>

Luchthavenindelingsbesluit (LIB) Schiphol van 4 november 2015:

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0014329/2015-11-04>

Website om te bepalen in hoeverre er op een bepaalde locatie bouwbeperking gelden rond Schiphol:

<http://www.lib-schiphol.nl/>

Contactadres voor toetsing LVNL:

cnstoetsing@lvnl.nl

Overzicht windturbines in Nederland:

<http://www.windstats.nl>

Viewer actueel hoogtebestand Nederland:

<http://www.ahn.nl/pagina/viewer.html>