

Toelichting PERSEUS radarhinder toetsingsmethode en berekeningen



TNO 2024 R10010 – 31 januari 2024

Toelichting PERSEUS radarhinder toetsingsmethode en berekeningen

| | |
|---------------------|--|
| Auteurs | Alwin Brettschneider Onno van Gent Saul Rindt Reinier Tan Arme Theil |
| Rubricering rapport | TNO Public |
| Titel | TNO Public |
| Rapporttekst | TNO Public |
| Aantal pagina's | 76 (excl. voor- en achterblad) |
| Aantal bijlagen | 0 |

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

| | |
|--|----|
| Inhoudsopgave | 3 |
| Afkortingen | 4 |
| 1 Inleiding | 5 |
| 2 Technische achtergrond | 7 |
| 2.1 Primaire radar | 7 |
| 2.2 Secundaire radar | 8 |
| 3 Huidige regelgeving | 12 |
| 3.1 Verkeers- en gevechtsleidingsradars | 12 |
| 3.2 Secundaire verkeersleidingsradars | 17 |
| 3.3 Verkeersleidingsradars in beheer bij LVNL (LIB Schiphol) | 20 |
| 4 Rekenmethode verkeersleidingsradars | 26 |
| 4.1 Inleiding | 26 |
| 4.2 Toepaste hoogtekaart van Nederland | 26 |
| 4.3 Het primaire verkeersleidingsradarnetwerk | 29 |
| 4.4 Een infill radar bij Wemeldinge, Zeeland | 37 |
| 4.5 Belgische militaire verkeersleidingsradar bij Kleine Brogel | 40 |
| 4.6 Secundaire radars | 42 |
| 4.6.1 Bepaling radar horizon | 43 |
| 4.6.2 Line-of-sight analyse | 46 |
| 4.6.3 Horizontale line-of-sight dekkingsdiagrammen | 47 |
| 4.6.4 Peilingsfouten berekeningen | 52 |
| 5 Rekenmethode gevechtsleidingsradars | 58 |
| 5.1 Drie dimensionaire (3D) radars | 58 |
| 5.2 Het MPR vervangingsprogramma | 59 |
| 6 Modelling windturbines | 61 |
| 6.1 Realistische fabrieksmodellen | 61 |
| 6.2 TNO <i>worst-case</i> turbine | 62 |
| 7 Rapportages | 64 |
| 7.1 Introductie | 64 |
| 7.2 Uit te voeren handeling initiatiefnemer bij radarhinderonderzoek | 65 |
| 7.3 Noodzakelijke gegevens voor het uitvoeren van toetsingen | 66 |
| 7.4 Kosten, doorlooptijden en voorwaarden | 66 |
| 8 TNO in adviserende rol | 68 |
| 8.1 Militaire luchtverkeers- en gevechtsleidingsradars | 68 |
| 8.2 Scheepsradars en VTS systemen | 68 |
| 8.2.1 Schaduwwerking | 69 |
| 8.2.2 Schijn- of spookdoelen | 69 |
| 8.2.3 Reflecties van de wieken boven de vaarweg | 71 |
| 8.3 Communicatie verbindingen | 72 |
| 9 Handige links en adressen | 73 |
| Referenties | 75 |

Afkortingen

| Afkorting | Omschrijving |
|-----------|--|
| AHN | Actueel Hoogtebestand Nederland |
| AOCS | Air Operations Control Station |
| ASR | Air Surveillance Radar |
| Barro | Besluit algemene regels ruimtelijke ordening |
| CAD | Computer Aided Design |
| CAGO | Cell Average Greatest Of |
| CFAR | Constant False Alarm Rate |
| 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 |
| VCC | Vertical Clutter Cancellation |
| VTS | Vessel Traffic Service |
| VVGB | Verklaring van geen bedenkingen |

1 Inleiding

Radarsystemen ondervinden mogelijk hinder van windturbines of windmolenparken. Het Ministerie van Defensie heeft daarom normen opgesteld waartegen de prestatie van de luchtverkeersradarsystemen getoetst moet worden. Deze normen gelden voor zowel de militaire als de civiele luchtverkeersleidingsradarsystemen in Nederland, te weten de luchtverkeersleidingsradars te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel, Woensdrecht, De Kooy in Den Helder, de TAR-West bij Schiphol en de infill radar bij Wemeldinge. Naast deze radars gelden er ook normen van de militaire gevechtsleidingsradars te Wier, Nieuw Milligen en Herwijnen. Deze laatste gaat op termijn de radar bij Nieuw Milligen vervangen. Voor de civiele radars bij de luchthaven Schiphol geldt ook een andere regelgeving, namelijk de op 4 november 2015 aangepast en vastgelegd in het Luchthavenindelingsbesluit (LIB). Meer details hierover zijn 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 wordt aangegeven wat de maximale hoogte is voor bouwwerken en windturbines in de buurt van een radarstation conform bijlage XIV, onder E van het Besluit kwaliteit leefomgeving;
- De [handelingen](#) die een initiatiefnemer dient uit te voeren voor de aanvraag van een omgevingsvergunning dat betrekking heeft tot een omgevingsplanactiviteit in een radarverstoringsgebied;
- [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 windturbine type en -fabrikant beschikbaar is;
- [Rekenmethode primaire 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 nieuwe [infill radar bij Wemeldinge](#) in Zeeland en de [nieuwe ASR-M radar](#) bij de Belgische Militaire vliegbasis Kleine Brogel;
- [Rekenmethode secundaire verkeersleidingsradars](#), waarbij onder andere ingegaan hoe wordt bepaald in welke gebieden zij kunnen worden beïnvloed door obstakels, zoals windturbines, en hoe de peilingsfouten die door obstakels kunnen veroorzaakt, voor dit type radar wordt bepaald;
- [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.

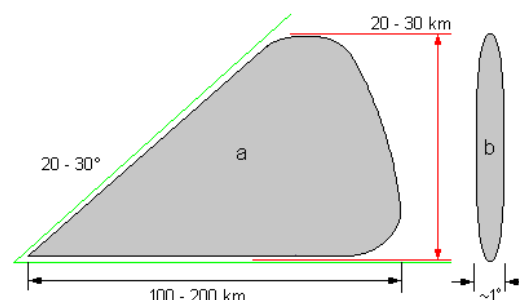
2.1 Primaire radar

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 2.1 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

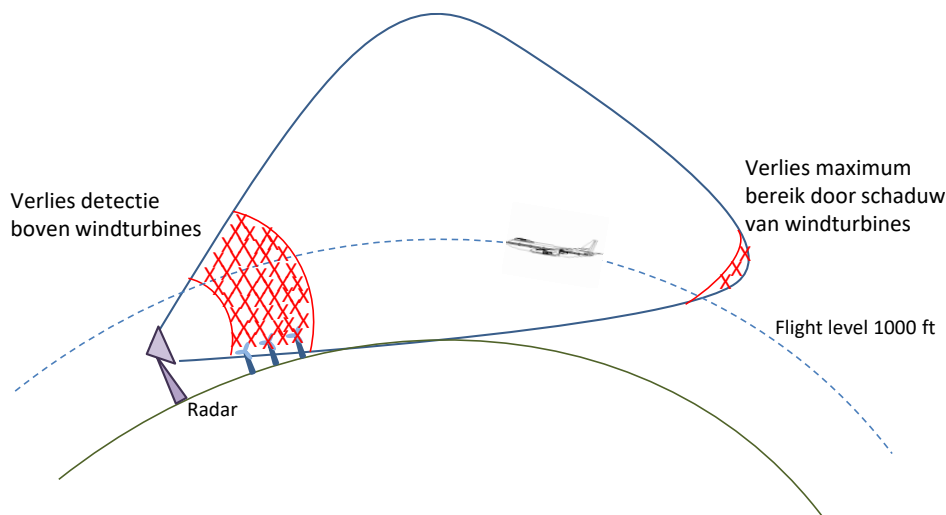
antenne met 15 omwentelingen per minuut rond draait om zijn verticale as, wordt elke vier seconden een radarbeeld opgebouwd over 360° rond de radar.

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.

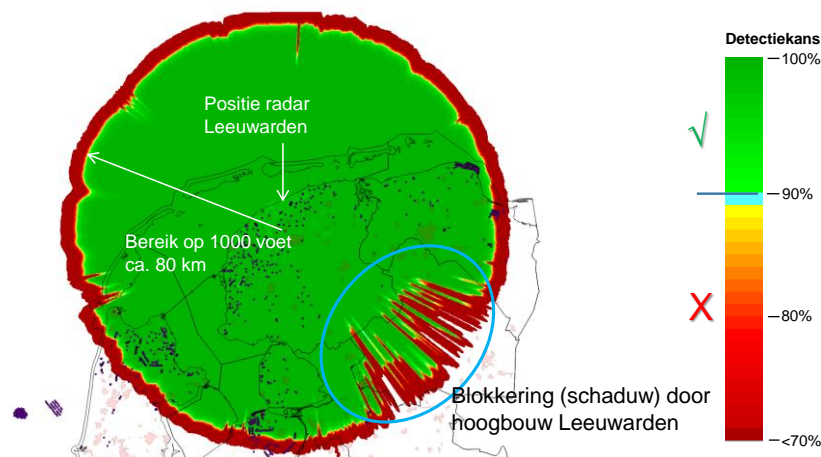


Figuur 2.1: Een vaanvormige bundel, de typische bundelvorm voor een rondzoekradar

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 plaatst, 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.

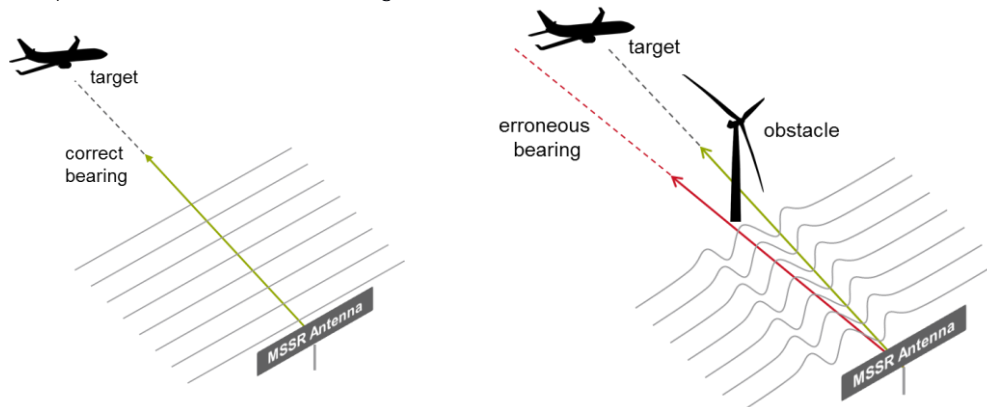
Primaire en secundaire radarsystemen zijn vaak geïntegreerd in één ronddraaiend antennesysteem, zie figuur 4.



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 windturbines 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, zie figuur 5.



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.

In figuur 6 wordt de secundaire radarantenne van de TAR West op Schiphol. De antenne bestaat typisch uit 35 antenne elementen. Hieronder wordt een korte omschrijving gegeven over hoe de peilingshoek metingen door een secundaire radarantenne worden uitgevoerd gedaan en hoe de turbines deze meting beïnvloeden.

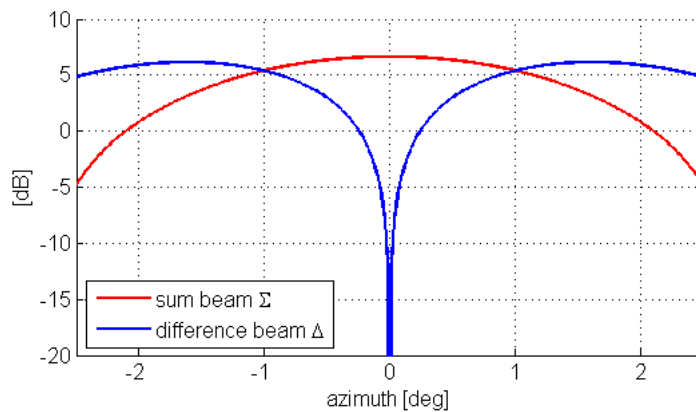


Figuur 6 Een secundaire radar antenne gemonteerd op de STAR 2000 antenne van de TAR West, bestaande uit 35 radar elementen bovenop een STAR 2000 antenne.

Door verschillen weeg-factoren op ieder radarelement toe toepassen worden twee radarbundels gevormd. Een zogenoemde *sombundel* en een *verschilbundel*, zie figuur 7. Het transpondersignaal, afkomstig van het doel, wordt ontvangen in beide bundels. Door de signaalsterkte in het somkanaal te vergelijken met de signaalsterkte in het verschilkanaal, kan een nauwkeurige peilingshoek worden bepaald. De links-rechts dubbelzinnigheid wordt opgelost door te kijken naar de fase van het ontvangen signaal. Stel dat de antenne bijvoorbeeld een signaal ontvangt met gelijke sterkte in het som- en verschilkanaal, dan betekent dit dat de peiling naar het doel, afhankelijk van de fase, gelijk moet zijn aan $+1^\circ$ of $-$

1°. De peilingmeting wordt voor elke ontvangen puls afzonderlijk bepaald, vandaar dat deze techniek ook vaak ‘monopulse’ techniek wordt genoemd.

Als er zich een obstakel, zoals een windturbine, bevindt tussen het doel en de radar, zullen de som- en verschilbundel verschillend worden beïnvloed. Dat betekent dat bij het bepalen van de peilingshoek een fout wordt geïntroduceerd. Hieronder zullen we deze fout verder kwantificeren.



Figuur 7 De som (rood) en verschilbundel (blauw) als functie van azimuth. De peiling naar het doel wordt bepaald door de signaalsterkte van het transpondersignaal in beide bundels met elkaar te vergelijken.

3 Huidige regelgeving

In de twee komende paragrafen wordt de huidige regelgeving omtrent de radarhinder voor primaire en secundaire militaire en civiele radars nader toegelicht. Per 1 januari 2024 zijn de oorspronkelijke regelingen uit de Regeling algemene regels ruimtelijke ordening (RARRO) komen te vervallen. De regels omtrent radarhinder zijn nu te vinden in het nieuwe stelsel van het Omgevingsrecht. De in dit hoofdstuk opgenomen tekst betreft een interpretatie opgesteld door TNO waar verder geen rechten kunnen aan kunnen worden verleend. De oorspronkelijke teksten in de Omgevingswet, en het Luchthavenindelingsbesluit (LIB) Schiphol prefereren. Deze radarhinder gerelateerde informatie is te vinden in de volgende artikelen van de Omgevingswet:

- › De verantwoordelijkheden van het Ministerie van Defensie zijn terug te vinden in artikel 4.28. (advies en instemming door Minister van Defensie):
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041278&hoofdstuk=4&afdeling=4.2&artikel=4.2.8&z=2024-01-01&g=2024-01-01>.
- › De 15 en 75 km radarverstoringgebieden voor de primaire militaire en civiele primaire verkeersleidingsradars staan vermeld in artikel 5.150, vijfde lid. (aanwijzing militaire terreinen en terreinen met een militair object):
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&hoofdstuk=5&afdeling=5.1¶graaf=5.1.7&sub-paragraaf=5.1.7.2&artikel=5.150&z=2024-01-01&g=2024-01-01>);
- › en artikel 5.155, eerste lid (geen belemmeringen voor militair radarbeeld):
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&hoofdstuk=5&afdeling=5.1¶graaf=5.1.7&sub-paragraaf=5.1.7.2&artikel=5.155&z=2024-01-01&g=2024-01-01>);
- › De daarbij behorende bijlage met een opsomming van de radarlocaties en de hoogtes van de normprofielen zijn opgenomen in Bijlage XIV onder E:
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&bijlage=XIV&z=2024-01-01&g=2024-01-01>).

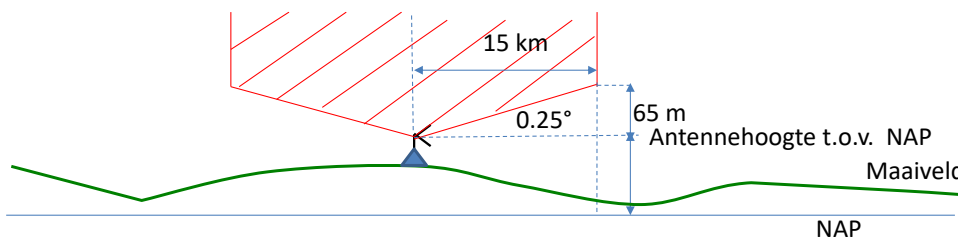
Voor de het Luchthavenindelingsbesluit (LIB) Schiphol zijn de radarhinder gerelateerde informatie te vinden in het volgende artikelen:

- › Voor de maximale hoogtes van bomen en struiken rond de radarsystemen van Schiphol, artikel 2.2.2a:
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0014329&hoofdstuk=2¶graaf=2.2&artikel=2.2.2a&z=2015-11-04&g=2015-11-04>
- › Voor de toetsingsplicht van windturbines, artikel 2.2.4.:
<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0014329&hoofdstuk=2¶graaf=2.2&artikel=2.2.4&z=2015-11-04&g=2015-11-04>
- › En de daarbij behorende kaart in Bijlage 6 met de zone rond Schiphol waarin deze regeling geldt en Bijlage 4A met het hoogteprofiel voor de maximale tiphoogtes oplopend vanaf de radarlocaties.

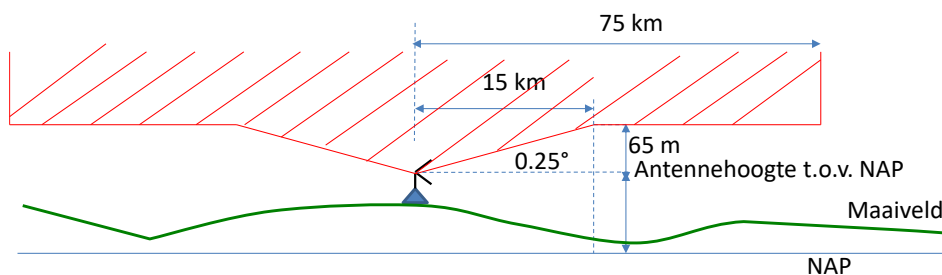
3.1 Verkeers- en gevechtsleidingsradars

De besluiten omtrent de luchtverkeersleidingsradars die in beheer zijn van defensie en LVNL in de omgeving zijn vastgelegd in de Omgevingswet, Omgevingsbesluit, Besluit kwaliteit leefomgeving en Omgevingsregeling. Bij de huidige regelgeving voor de primaire militaire en

civiele primaire verkeersleidingsradars wordt voor het vastleggen van de radarverstoringengebieden een normprofiel aangehouden dat voor gebouwen loopt tot 15 km (zie figuur 8) vanaf de primaire radar, en voor windturbines tot 75 km (zie figuur 9) vanaf de primaire radar. Voor de secundaire verkeersleidingsradar geldt voor zowel bouwwerken windturbines het normprofiel tot 15 km (zie figuur 8). Zie ook E van Bijlage XIV (<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&bijlage=XIV&z=2024-01-01&g=2024-01-01>) De in de bijlage genoemde factor 0,004363 komt overeen van de tangens van 0.25°. 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 radarverstoringengebieden dan voor overige bouwwerken. Er wordt binnen de regeling op dit moment rekening gehouden met de zes Military Approach en Surveillance System (MASS) verkeersleidingsradars (te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel, Woensdrecht en De Kooy in den Helder), de infill radar bij Wemeldinge en de civiele TAR West radar bij Schiphol. Naast de verkeersleidingsradars zijn ook twee militaire gevechtsleidingsradars te Wier (Noord Friesland) en Nieuw Milligen (op de Veluwe), opgenomen in de regeling. Deze laatste zal op termijn worden vervangen door een nieuw radarsysteem op de locatie Herwijnen. Om die reden is ook deze locatie per 1 juli 2016 opgenomen in de regelgeving. 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 8: Het hoogteprofiel (niet op schaal) voor gebouwen. Als een deel van het gebouw door het profiel steekt dient een toetsing plaats te vinden.



Figuur 9: Het hoogteprofiel (niet op schaal) voor windturbines. Als de tip van de wijk door het profiel steekt dient een toetsing plaats te vinden.

De locatiegegevens van de verkeersleidingsradars en van de gevechtsvuurleidingsradars 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. 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 wijk door het windturbineprofiel steekt zoals aangegeven in figuur 8 en figuur 9.

Tabel 1: Locatiegegevens van de zes militaire MASS verkeersleidingsradars de civiele verkeersleidingsradar TAR West en TAR Centrum bij Schiphol en de infill radar bij Wemeldinge. Naast deze radars staan in

Nederland de twee gevechtswuurleidingsradars te Nieuw Milligen en Wier. De MPR gevechtsleidingsradars worden vervangen door SMART-L radars, waarbij de radarpositie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen. Naast de locatiegegevens staat eveneens de aangehouden antennehoogte voor het toetsingsprofiel en de toepaste feitelijke hoogte van de primaire radarantenne.

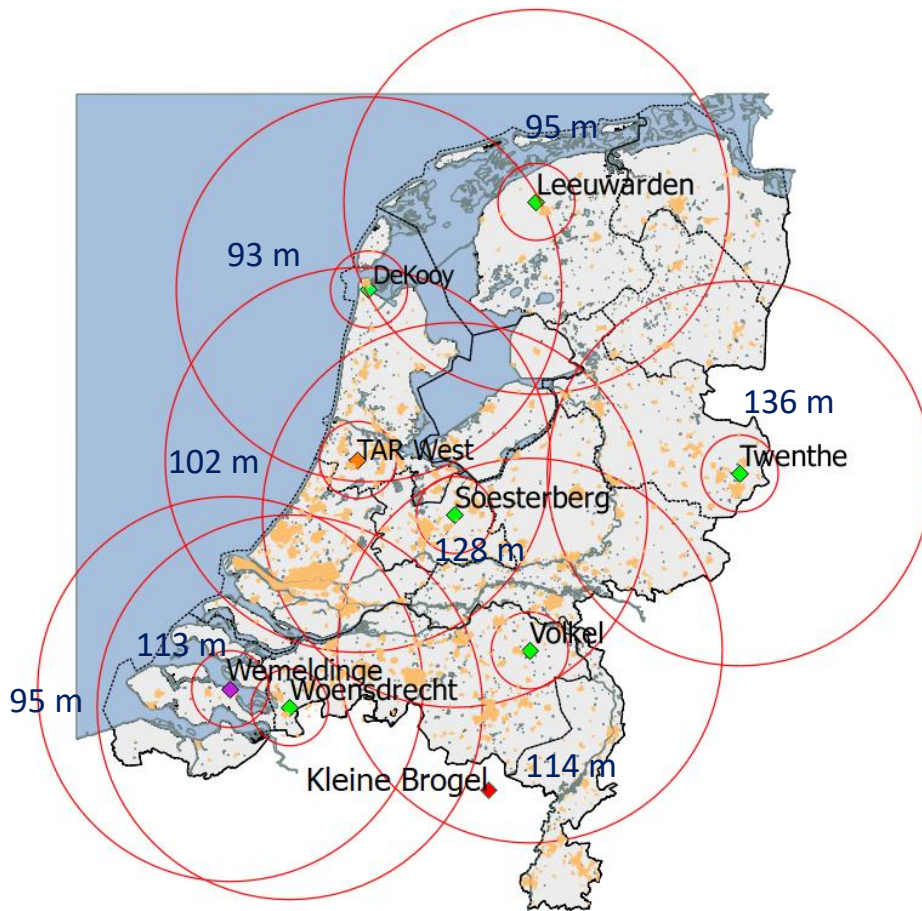
| Primaire radars | Coördinaten Rijksdriehoekstelsel | | Antennehoogte voor toetsingsprofiel ten opzichte van NAP [m] | Tijp hoogte voor toetsingsplicht ten opzichte van NAP [m] |
|-------------------------|-------------------------------------|--------|---|---|
| | X [m] | Y [m] | | |
| Leeuwarden | 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 | 27 | 92 |
| TAR West Schiphol | 109603 | 482283 | 37 | 102 |
| TAR Centrum* Schiphol | 113877 | 480571 | 17 | n.v.t |
| Infill radar Wemeldinge | 059912 | 392950 | 30 | 95 |
| ASR-M Kleine Brogel (B) | 160417 | 353466 | n.v.t.** | n.v.t.** |
| Nieuw Milligen (MPR) | 179258 | 471774 | 53 | 118 |
| Wier (SMART-L) | 170513 | 585673 | 24 | 89 |
| Herwijnen (SMART-L) | 137106 | 427741 | 25 | 90 |

* Dit is alleen een secundaire radar, ook bekend als TAR 1

** Dit is een buitenlandse radar en heeft daarom geen eigen hoogteprofiel

De 15 km en 75 km cirkels rond de verkeersleidingsradars, zijn weergegeven in figuur 10. In de overlapgebieden van de cirkels geldt de laagste hoogte.

Begin 2017 is de nieuwe, TAR (Terminal Approach Radar) West bij Schiphol operationeel geworden en is deze radar opgenomen in het MASS verkeersleidingsradarnetwerk. De toetsingsplicht voor windturbines rond deze radar zijn naast de Omgevingswet ook vastgelegd in het Luchtvaart Inpassingsbesluit (LIB) van Schiphol. Voor de borging van de radardekking boven zuidwest Nederland is in 2020 het verkeersleidingsradarnetwerk verder uitgebreid worden met een Scanter 4002 infill radar. De radar wordt gebouwd bij de Radarpost Wemeldinge van Rijkswaterstaat en is in de loop van 2022 operationeel geworden. Tot slot is voor de extra ondersteuning van de radardekking boven zuidoost Nederland met ingang van 2021 ook de nieuwe Belgische militaire ASR-M verkeersleidingsradar bij Kleine Brogel in het radarnetwerk opgenomen. Deze radar is medio 2021 operationeel geworden.



Figuur 10: De locaties van de zes MASS verkeersleidingsradars (groene ruit), de TAR West bij Schiphol (oranje ruit) en de Scantier 4002 infill radar bij Wemeldinge (paarse ruit) met daaromheen de 15 en 75 km cirkels. De getallen in de cirkels geven de tiphoogtes weer waarboven de toetsingsplicht geldt. In het overlapegebieden geldt de laagste tiphoogte.

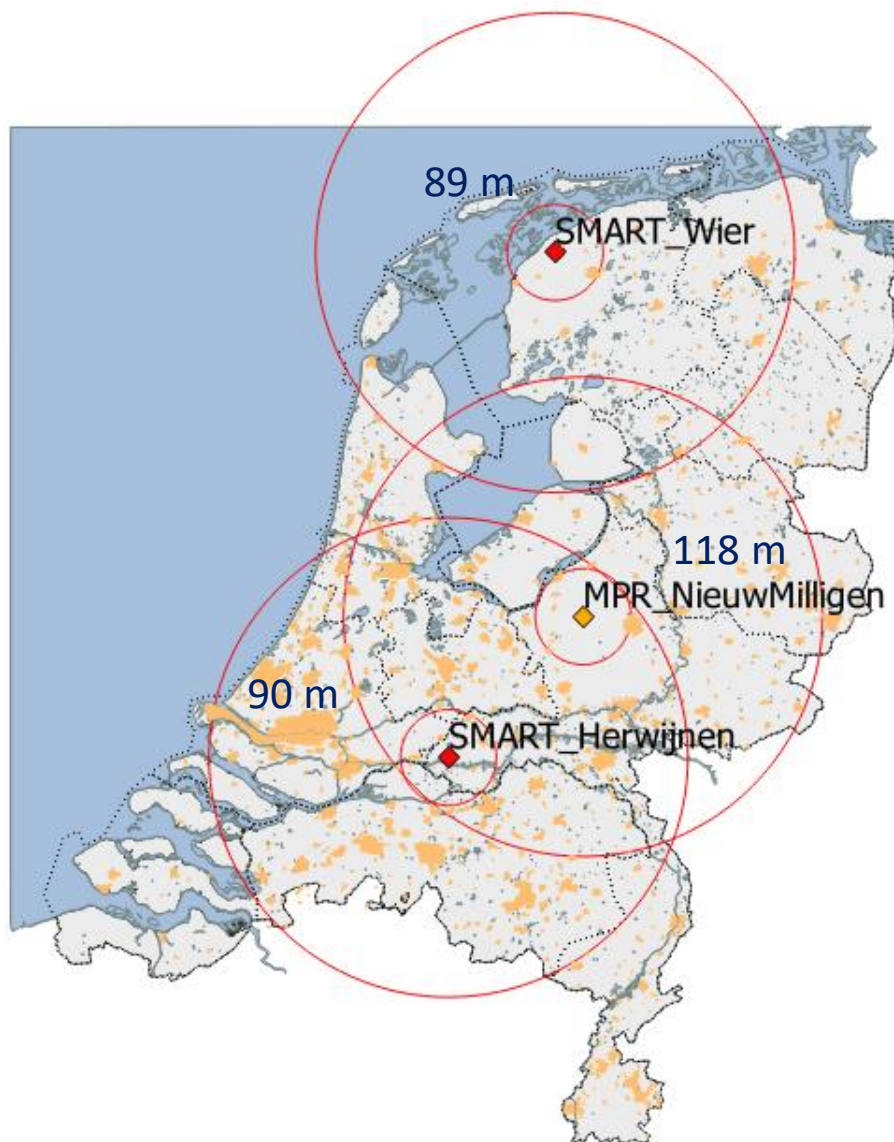
De MPR gevechtsleidingsradars worden vervangen door de nieuwe SMART-L EWC GB radar, waarbij de radarlocatie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen. Deze nieuwe locatie is daarom per 1 juli 2016 in de regelgeving opgenomen. Omdat het nog onbekend is wanneer de MPR van Nieuw Milligen buiten bedrijf wordt gesteld, blijft deze dus toetsingsplichtig. Aangezien er nog geen volledige zekerheid is over de plaatsing van de gevechtsleidingsradar op de beoogde locatie Herwijnen, is in 2019 een onderzoek uitgevoerd naar alternatieve locaties. Daar zijn drie locaties uitgekomen, te weten Goudriaan, Meerkerk en Nieuwpoort. De coördinaten van deze drie locaties zijn opgenomen in tabel 2. In geval een bouwplan binnen het toetsingsgebied, zie figuur 12, valt van Herwijnen, wordt door Defensie alleen een positief advies afgegeven aan het bevoegd gezag als het bouwplan ook voor deze drie alternatieve locaties geen overschrijding van de norm vertoont.

Tabel 2 Locatiegegevens van de drie alternatieve locaties voor de SMART-L radar te Herwijnen.

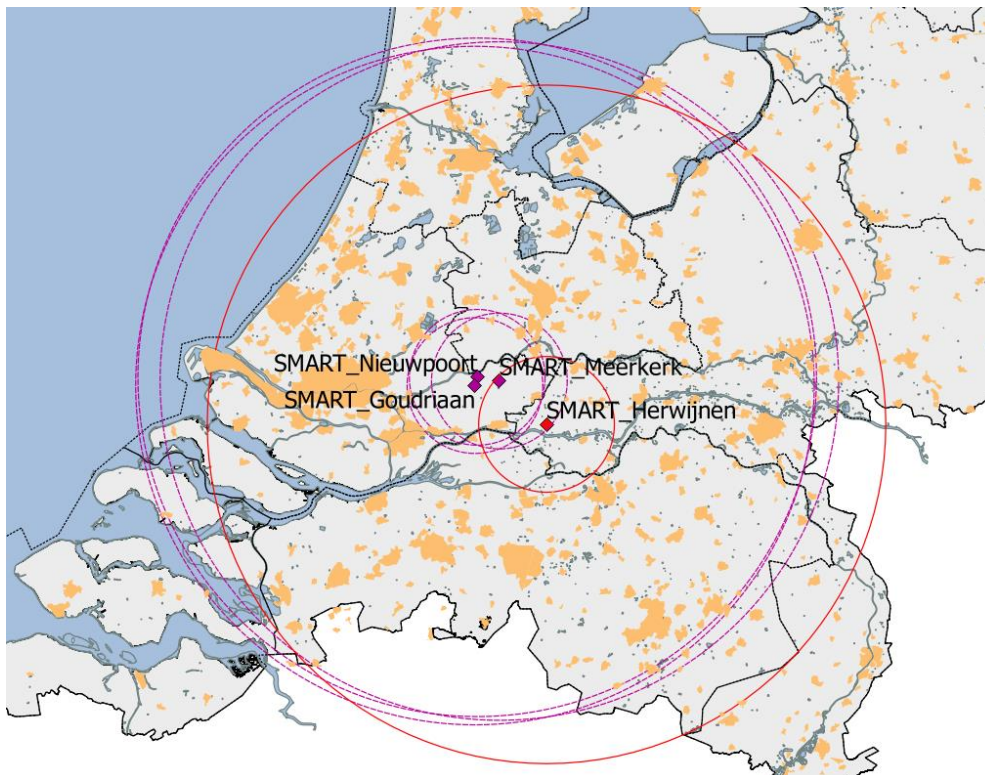
| SMART-L radar | Coördinaten Rijksdriehoekstelsel | | Antennehoogte t.o.v. NAP [m] |
|---------------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|
| | X [m] | Y [m] | |
| Goudriaan | 121286 | 436321 | Gerubriceerd* |
| Meerkerk | 126684 | 437319 | Gerubriceerd* |
| Nieuwpoort | 121789 | 438142 | Gerubriceerd* |

** Deze gegevens zijn bekend bij defensie.

De 15 km en 75 km cirkels rond de gevechtsleidingsradars en de alternatieve locaties voor Herwijnen, zijn weergegeven in respectievelijk figuur 11 en figuur 12. 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.



Figuur 11: 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.



Figuur 12. Locaties van de drie alternatieve locaties Goudriaan, Meerkerk en Nieuwpoort (paarse ruit) voor de nieuwe SMART-L EWC GB gevechtsleidingsradar te Herwijnen (rode ruit). De oranje vlakken zijn de in de AHN-1 gedefinieerde stedelijke gebieden.

De norm die voor de primaire radars door Defensie wordt toegepast is een radardetectiekans van 90%. Voor de verkeersleidingsradars geldt dit voor het gezamenlijke radarbeeld, binnen het 300, 500 en 1000 voet normgebied, ten opzichte van het maaiveld. Voor de gevechtsleidingsradars geldt dit voor elke afzonderlijke radar op een hoogte van 1000 voet ten opzichte van het maaiveld. Voor de maximaal toelaatbare verstoring van de radar heeft het ministerie van Defensie operationele normen vastgesteld. Obstakels die in een bepaalde richting meer dan 10% vermindering van het radarbereik tot gevolg hebben, worden niet aanvaardbaar geacht. Het directe gevolg van een overschrijding van deze norm is, dat vliegverkeer op een bepaalde afstand in de betreffende richting of boven één of meerdere windturbines niet meer tijdig kan worden waargenomen.

Hierdoor worden de twee belangrijke functies van de radarinstallatie geschaad. Het betreft:

- › De luchtverkeersleidingstaak: Bij onvoldoende zicht op het civiele en militaire vliegverkeer kan de vereiste vliegveiligheid niet worden gewaarborgd.
- › De luchtverdedigingstaak: Door verminderd radarbereik kan niet tijdig worden gereageerd, indien ongeïdentificeerde vliegtuigen het Nederlandse luchtruim binnenkomen.

Hoe deze berekening plaatsvindt wordt voor de verkeersleidingsradars in hoofdstuk 4 verder uitgelegd en voor de gevechtsleidingsradars in hoofdstuk 5.

3.2 Secundaire verkeersleidingsradars

Zoals reeds in paragraaf 2.2 is aangegeven, kunnen obstakels in het pad tussen het vliegtuig en de secundaire radar een fout veroorzaken in de peilingsmeting van deze radar. Elke verkeersleidingsradar in Nederland is uitgerust met een combinatie van een primaire en

secundaire radar. Verder staat op Schiphol, naast de TAR West, een tweede radar genaamd TAR Centrum ook wel bekend onder de naam TAR 1, zie figuur 13. Deze is echter alleen een secundaire radar.

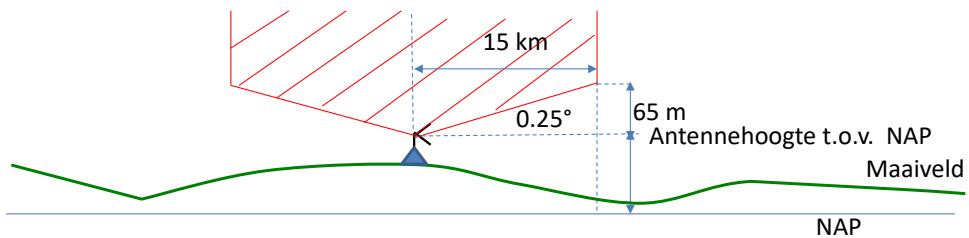


Figuur 13 De TAR Centrum of TAR 1 secundaire radar gelegen tussen de taxibanen van Schiphol.

De effecten op de antenne nemen af naarmate de afstand tussen de antenne en het obstakel toeneemt. Om deze reden dienen alleen bouwplannen die binnen een afstand van 15 km vanaf de secundaire radar staan ook getoetst te worden op de mogelijk peilingsfouten die kunnen ontstaan. Voor deze fouten wordt vaak de Engelse term Off-Boresight Error of OBE, gebruikt. De maximaal toelaatbare standaardafwijking in de peilingshoek als gevolg van obstakels, is 0.08° . In figuur 14 is een overzicht gegeven van de locaties van de secundaire radars in Nederland met daarom heen de 15 km cirkels. Voornamelijk geldt er op dit moment alleen een toetsingsplichtig voor het geval een bouwwerk zich binnen de 15 km cirkel bevindt van de secundaire radars van Schiphol en een deel van het gebouw, of de tip van de windturbine door het hoogtepunt steekt, zie figuur 8.



Figuur 14: De locaties van de zes MASS verkeersleidingsradars (groene ruit), de TAR West en TAR Centrum bij Schiphol (oranje ruit) met daaromheen de 15 km cirkels. De Scanter 4002 infill radar bij Wemeldinge (paarse ruit) beschikt niet over secundaire radar en heeft daarom ook geen eigen 15 km cirkel.



Figuur 15: Het hoogteprofiel (niet op schaal) voor gebouwen en windturbines rond een secundaire radar. Als een deel van het gebouw, of de tip van de windturbine door het profiel steekt dient een toetsing plaats te vinden.

De aan te houden antennehoogtes van de secundaire antennes zijn dezelfde als vermeldt in tabel 1 van de primaire radars.

3.3 Verkeersleidingsradars in beheer bij LVNL (LIB Schiphol)

Op luchthaven Schiphol staan twee Terminal Approach Radars (TAR), de TAR 1, in de Barro Schiphol Centrum genoemd, en de TAR West. De TAR 1 of TAR Centrum, geplaatst tussen de taxibanen op het vliegveld, is alleen een secundaire radar, en de TAR West, geplaatst naast de taxibaan naar de Polderbaan, is zowel een primaire als een secundaire radar. De TAR West radar is opgenomen in het primaire verkeersleidingsradarnetwerk en wordt dus samen met de militaire MASS radars meegenomen binnen de berekeningen in PERSEUS.

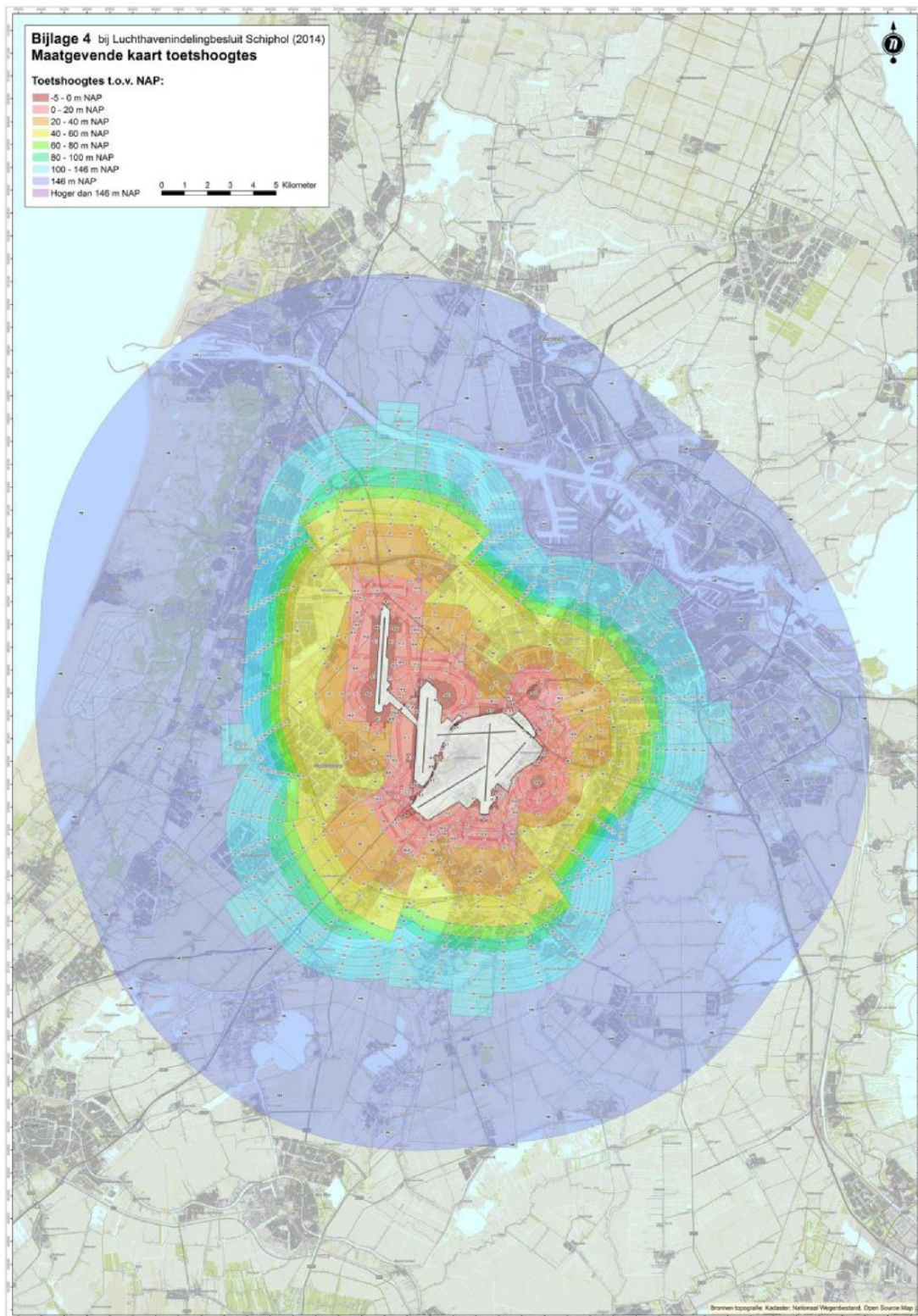


Figuur 16: De TAR 1 of TAR Centrum (links) geplaatst tussen de taxibanen op het vliegveld en de TAR West (rechts) gelegen naast de taxibaan richting de Polderbaan (Bron: LVNL).

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 17 is de zone (zie bijlage 6 van LIB) rond de luchthaven gedefinieerd. Binnen deze zone gelden er bouwbeperkingen voor windturbines met een **as**hoogte die groter is dan 35 m of voor (urban)windturbines met een grotere **tijp**hoogte dan 5 m vanaf het dak van het gebouw of waarbij de **tijp**hoogte en het gebouw gezamenlijk hoger is dan 35 m. In figuur 18 (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 **tijp**hoogte van een windturbine. Bij overschrijding van dit maximum, mag de windturbine niet gebouwd worden.

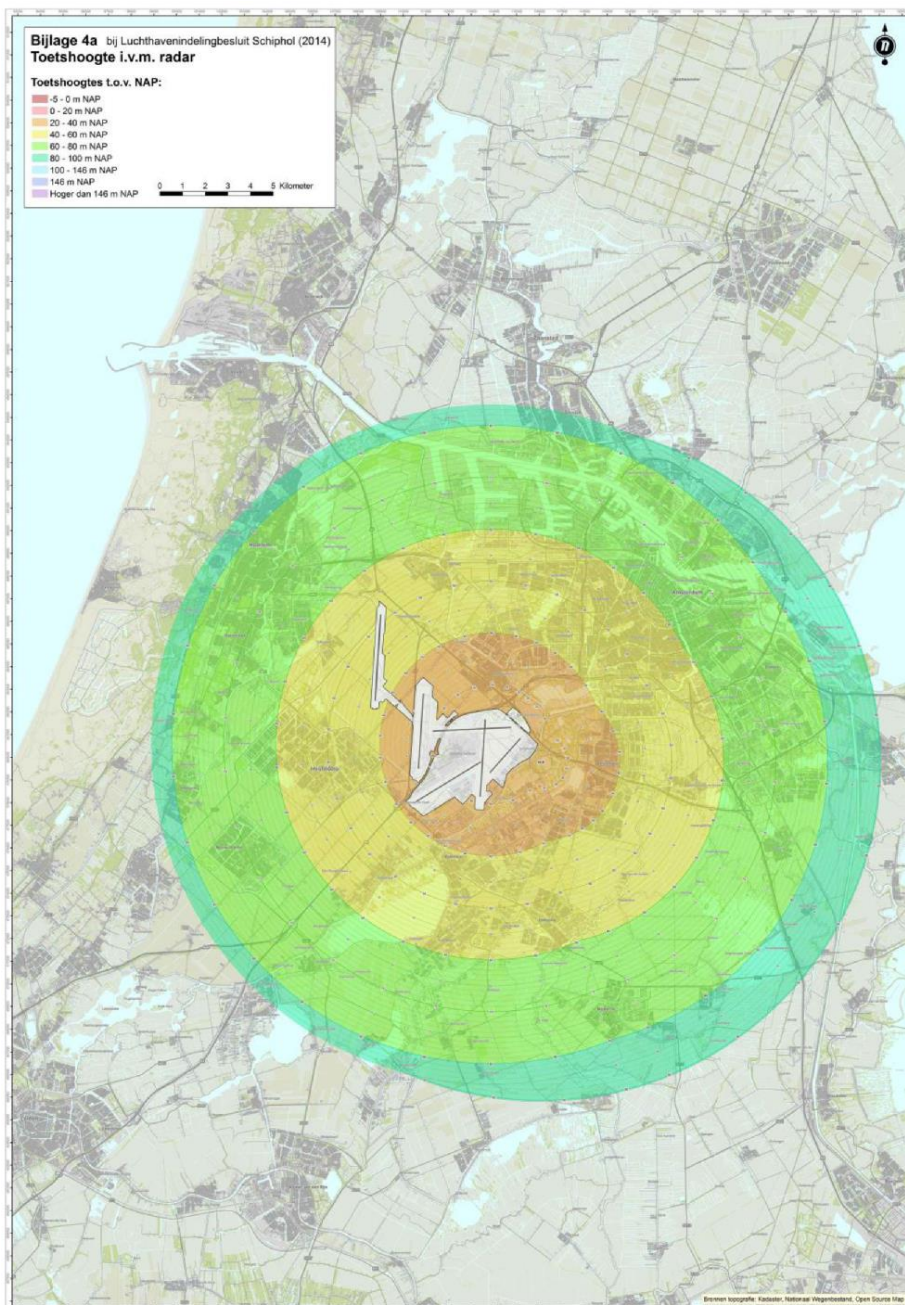


Figuur 17: Bijlage 6 van de LIB Schiphol, met de zone waarbinnen een bouwbeperking geldt voor windturbines met een ashoogte van hoger dan 35 m of voor (urban)windturbines bovenop een gebouw waarbij de tip meer dan 5 m uitsteekt, of waarbij de tiphoogte inclusief het gebouw hoger is dan 35 m (Bron: LIB 2016).



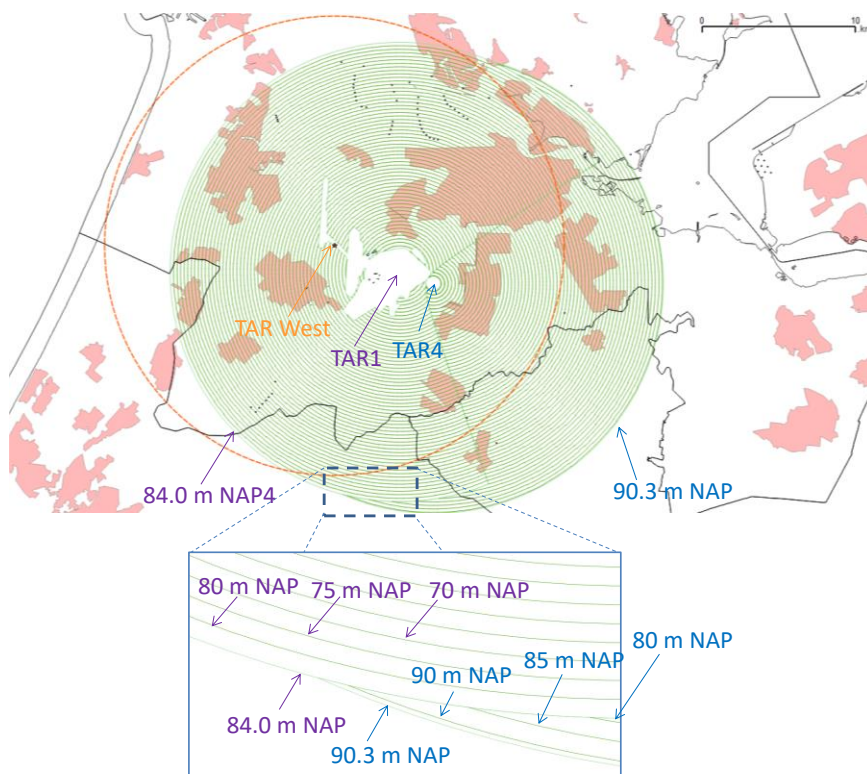
Figuur 18: Bijlage 4 van de LIB Schiphol, met de zones van maximum bouwhoogtes waarbinnen plaatsing van windturbines niet mogelijk is indien de tiphoogte ten opzichte van NAP boven de in de kaart aangegeven maxima komt. In de buitenste zone met een contour overeenkomstig met figuur 17 (bijlage 6) (violet) 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 is dan in figuur 18 aangegeven, dan betekent dit echter nog niet dat deze turbine mag worden gebouwd. In veel gevallen is een nader onderzoek of toetsing vereist. Daartoe zijn in figuur 19 (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 19: 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).

Net als bij 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 bij het opstellen van de LIB in gebruik zijnde primaire en secundaire radar van Schiphol gelegen in het Amsterdamse Bos en de TAR 1 of TAR Centrum, de tweede secundaire radar van Schiphol. Voor wat betreft het hoogtcriterium wordt dezelfde definitie aangehouden als in figuur 8. 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 radarpositie en daarna eveneens aflopend naar de antennehoogte. Indien de lijn wordt doorbroken door de tiphoogte van de turbines, dan dient er voor de ILT een toetsing plaats te vinden.



Figuur 20: 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, is al wel als referentie in oranje aangegeven. (Bron: LIB 2016).

Ondertussen is de TAR 4 vervangen door de nieuwe radar TAR West gelegen aan de westzijde van Schiphol naast de taxibaan naar de Polderbaan. Het is niet bij TNO bekend of en wanneer het LIB daarop aangepast wordt.

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.

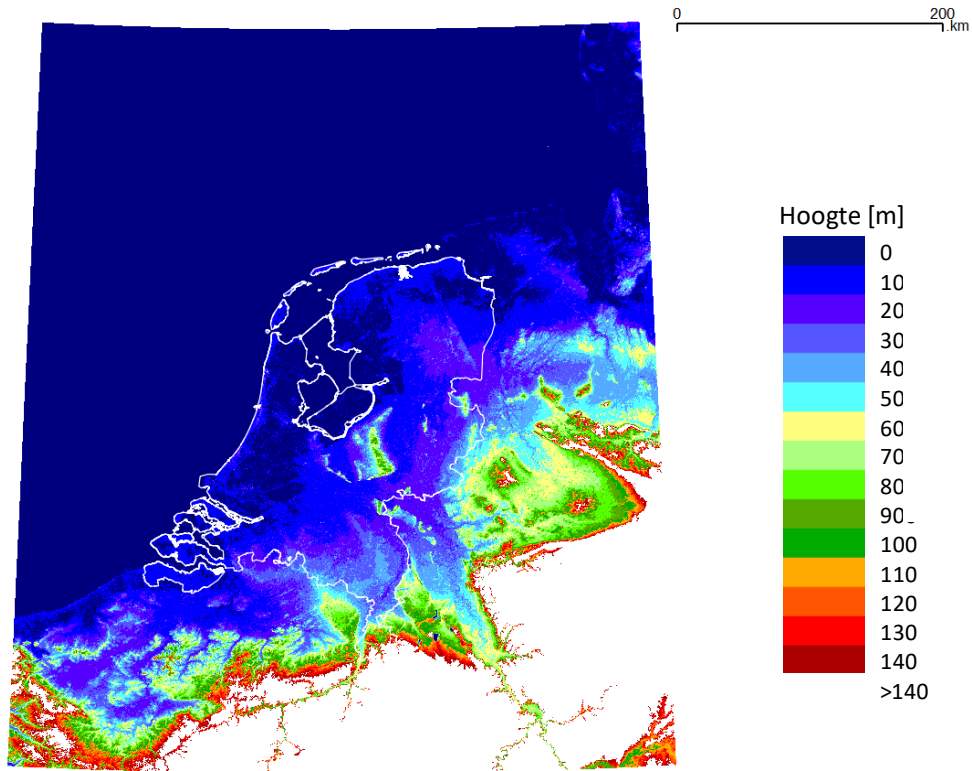
4 Rekenmethode verkeersleidingsradars

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 Toepaste hoogtekaart van Nederland

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 bron voor de hoogte informatie in Google Earth. Binnen PERSEUS wordt een gebied geladen dat zich uitstrekt tot ruim over de landgrenzen, zie figuur 21, om ook buiten Nederland een realistisch beeld te krijgen van de radardekking van radars vlak aan de landgrens of er overheen, zoals de MASS radar bij Twenthe en de ASR-M op de Belgische Militaire Luchtmachtbasis Kleine Brogel.

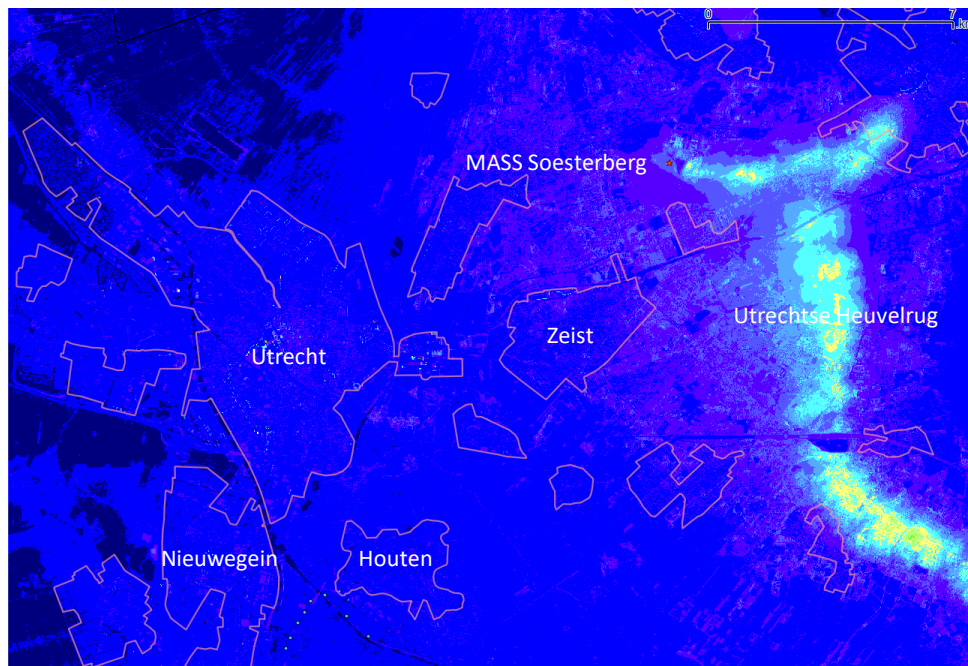


Figuur 21 Het SRTM1 hoogtebestand met een resolutie van 1 boogseconde (ongeveer 30 m langs een meridiaan).

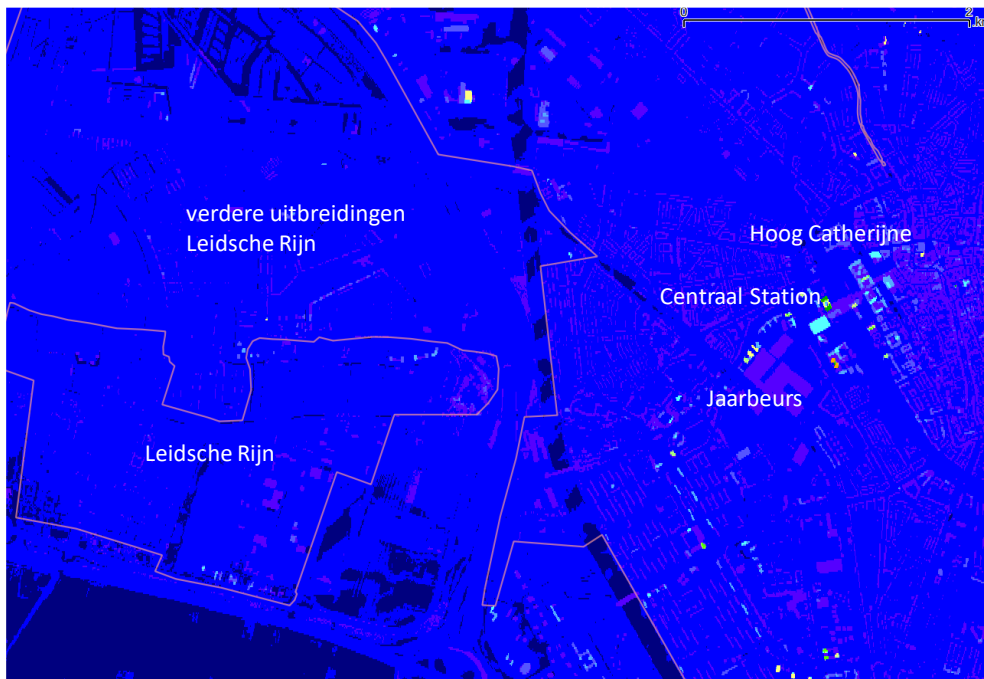
Binnen de Nederlandse grenzen wordt het Actueel Hoogtebestand Nederland AHN 2 toegepast en voor Friesland, Zeeland en delen van Zuid-Holland het nog recentere AHN3 bestand, zie figuur 22. In dit bestand bevindt zich bebouwing zoals aanwezig tijdens de opnames tussen 2007 en 2012 voor AHN2 en vanaf 2014 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 22 In de oranje omlijnde gebieden is het AHN-2 hoogtebestand aangevuld met het AHN-3 hoogtebestand.



Figuur 23 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.

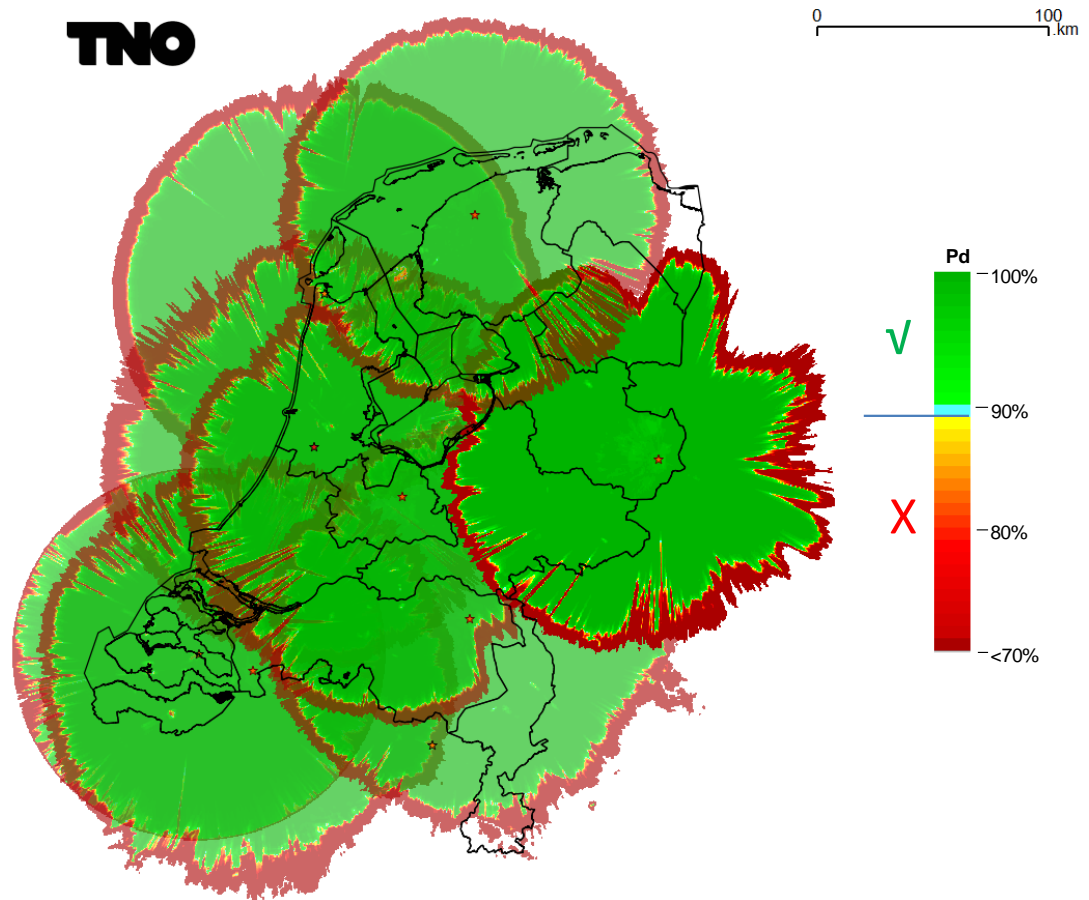


Figuur 24 Een voorbeeld van een deel van het stedelijk gebouw behorend bij de stad Utrecht. De rode contouren geven de stedelijke gebieden zoals toegepast bij AHN1. De bebouwing en hun bouwhoogte en recente uitbreidingen in Leidsche Rijn, zowel binnen als buiten de stedelijke gebieden zijn goed herkenbaar.

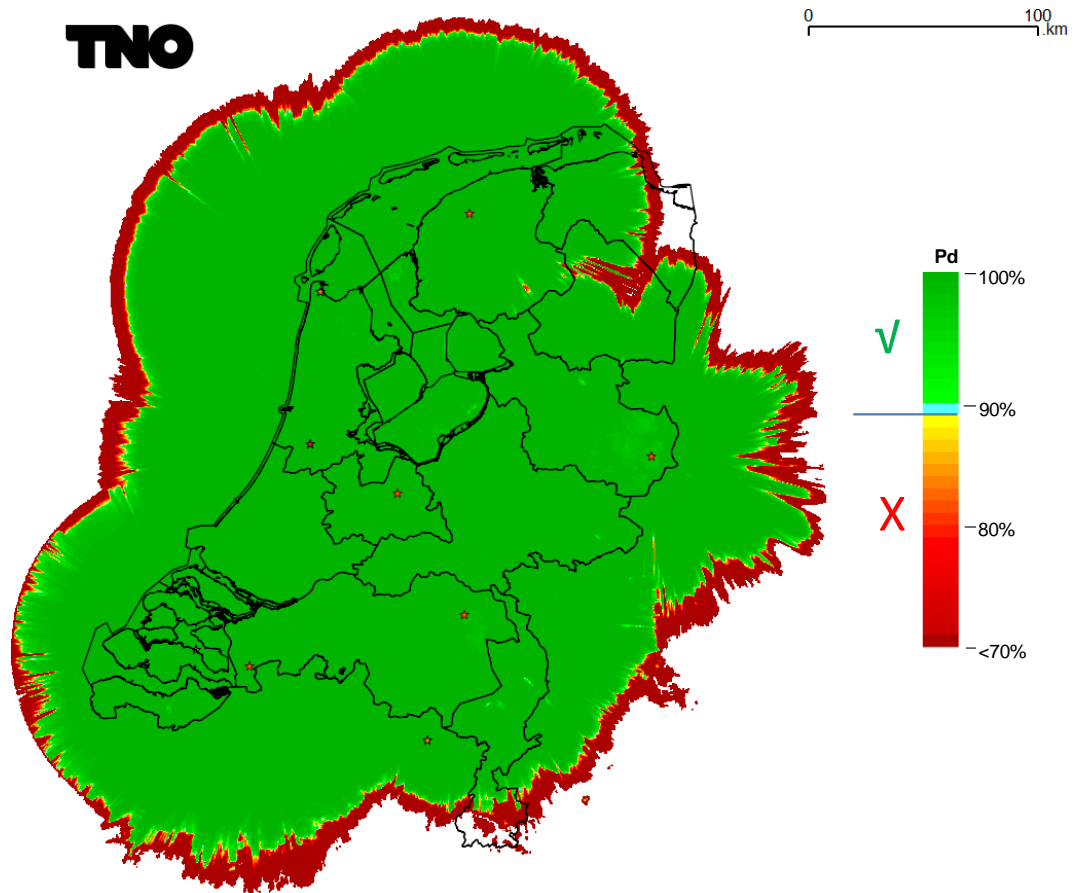
De actuele hoogte informatie op een bepaalde locatie in Nederland is te achterhalen met behulp van een viewer op de AHN site <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>. Als een deel van het bouwplan wordt afgeschermd door het tussenliggende terrein of door bebouwing in een stedelijk gebied, en dus niet wordt belicht door de radar, dan wordt dit deel van het bouwplan niet betrokken in de berekening.

4.3 Het primaire verkeersleidingsradarnetwerk

Het primaire verkeersleidingsradarnetwerk bestaat uit in totaal acht radarsystemen. Dit zijn de zes militaire MASS radars te Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Volkel, Woensdrecht en De Kooy bij Den Helder, de civiele radar TAR West bij Schiphol en tot slot de infill radar bij Wemeldinge. 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 alle 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 26. De rafelige buitenrand wordt veroorzaakt door de schaduw van bebouwing in stedelijke gebieden of door reeds bestaande windturbines. De individuele radardetectiekansdiagrammen van de acht betrokken radars, zie ook paragraaf 4.4, worden gecombineerd tot één diagram.



Figuur 25: 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 en de infaal radar bij Wemeldinge. 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.



Figuur 26: Voorbeeld van een gecombineerd radardetectiediagram berekend voor een normhoogte van 1000 voet ten opzichte van het maaiveld. De individuele radardetectiekansdiagrammen van de in figuur 25 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.

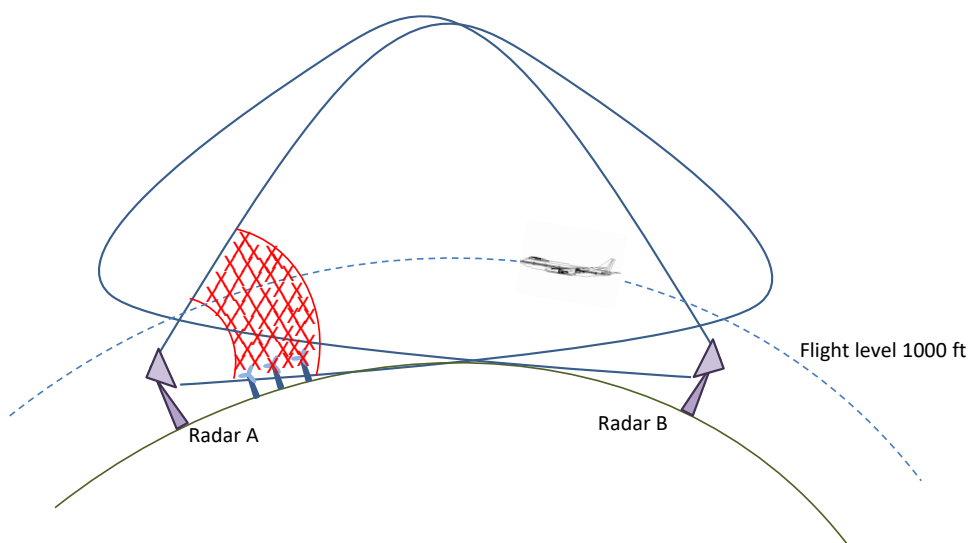
In figuur 27 is de radardetectiekans boven een bestaand windpark vergroot weergegeven. Aan de lichtere kleuren groen is te zien dat de windturbines een verlaging van de detectiekans ter hoogte van het park veroorzaken. De detectiekans blijft echter binnen de norm van 90% of hoger.



Figuur 27: Een voorbeeld van 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 voorbeeld echter binnen de norm van minimaal 90%.

Zoals al eerder aangegeven, worden de verkeersleidingsradars 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.

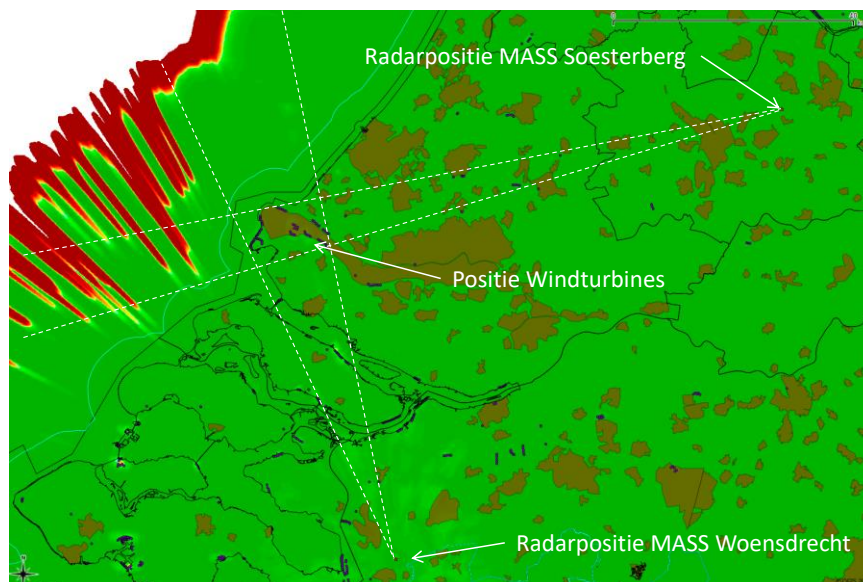
Een voorbeeld van het eerste is gegeven in figuur 28. De radar links op de tekening wordt beïnvloed door een aantal windturbines in de antennebundel. Beïnvloeding is niet alleen direct boven het windpark maar over de gehele vaanvormige openingshoek in elevatie. Voor de radar rechts liggen de windturbines achter zijn horizon, waardoor beïnvloeding boven hetzelfde gebied niet plaatsvindt. Ook bebouwing kan afscherming geven.



Figuur 28: 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 vaanvormige 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.

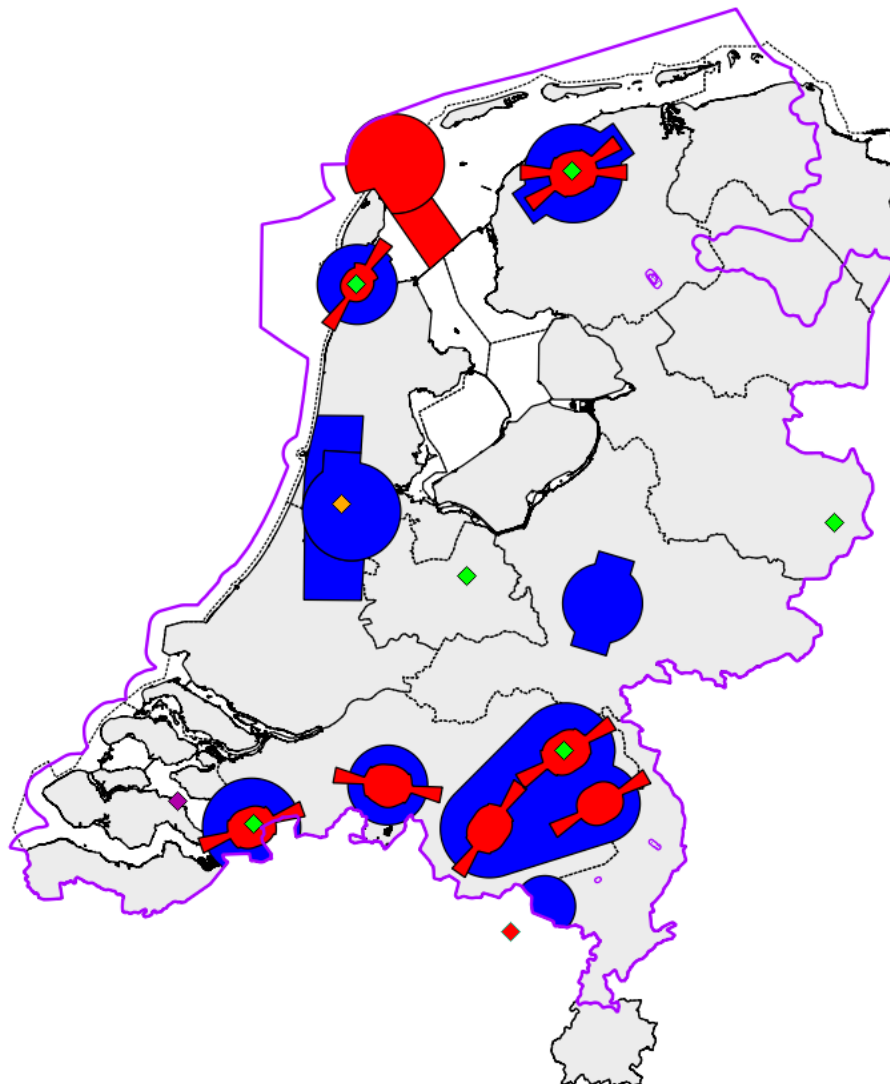
Een voorbeeld waarbij een tweede radar ondersteuning biedt in de schaduw van de turbines is gegeven in figuur 29. De schaduw die valt achter de windturbines in Europoort, gezien vanuit de MASS radar bij Woensdrecht, wordt opgevuld door de MASS radar bij Soesterberg.



Figuur 29: 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.

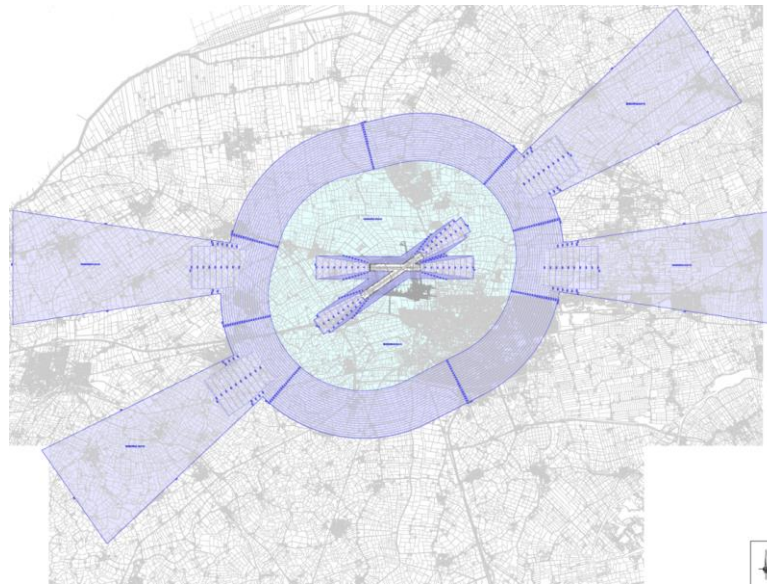
Het radarsimulatiemodel PERSEUS berekent voor elke verkeersleidingsradar de radardetectiekans van een doel met een radardoorsnede van 2 m^2 , fluctuatiestatistiek Swerling case 1, en loos alarmkans 1×10^{-6} . Dit zijn typische getallen waarmee de detectiekans van een verkeersleidingsradar wordt bepaald.

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 30.



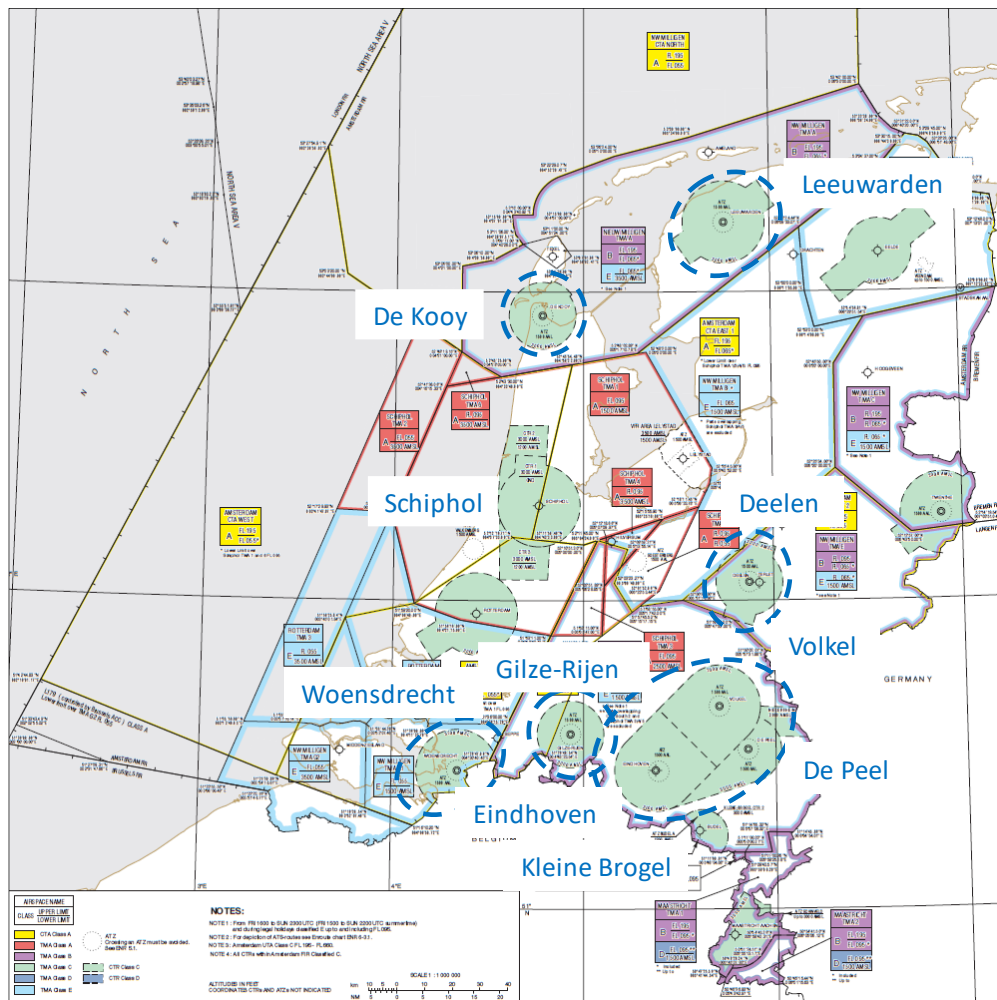
Figuur 30: De ligging van de normhoogtes op 300 voet (rood) en 500 voet (blauw). Op 1000 voet (paars) dient de verkeersleiding radarnetwerk, op enige uitzonderingen na, een landelijke dekking te hebben. Tevens zijn op deze kaart met markering de locaties aangegeven van het verkeersleidingsradarnetwerk bestaande uit zes radarsystemen (groene ruit), De TAR West (oranje ruit), de infill radar Wemeldinge (paarse ruit) en tot slot de ASR-M radar bij Kleine Brogel in België .

- 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 31: 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 en Schiphol. Dit zijn de gebieden waarbinnen de vliegtuigen manoeuvres uitvoeren na de start of vlak voor de landing. Met ingang van 1 januari 2021 is de ASR-M verkeersleidingsradar van de Belgische militaire vliegbasis Kleine Brogel opgenomen worden in het Nederlandse radarnetwerk. Om die reden is nu het CTR deel van deze vliegbasis dat op Nederlands grondgebied ligt eveneens tot 500 voet gebied aangewezen. De ligging van alle 500 voet gebieden is weergegeven in figuur 32.



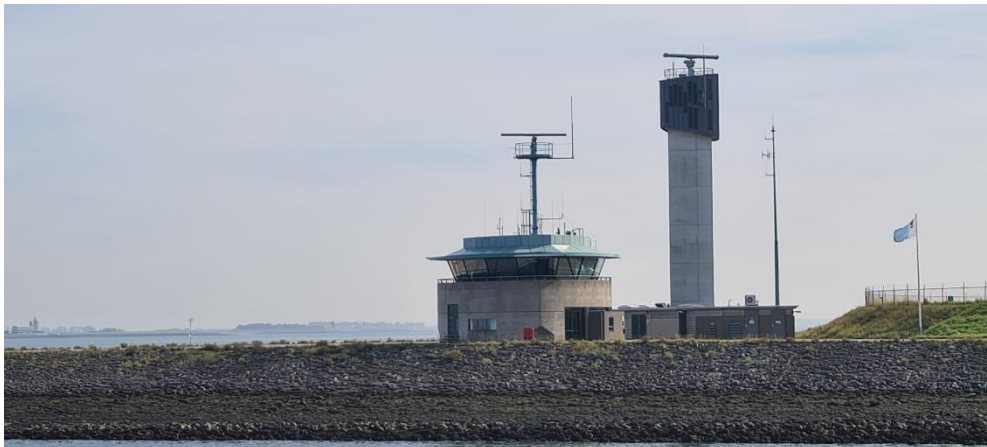
Figuur 32: Het luchtruim boven Nederland met in groen de CTR gebieden om de militaire en civiele vliegvelden. De radarhinderregeling heeft alleen betrekking op de met blauwe stippellijnen aangegeven militaire CTR's. Het CTR gebied rond de voormalige vliegbasis Twenthe, is in 2017 komen te vervallen.

Alle de CTR gebieden rond het civiele vliegveld Schiphol vallen onder de regeling, maar bijvoorbeeld niet die van Rotterdam-The Hague, Lelystad en Groningen.

- ↳ 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.

4.4 Een infill radar bij Wemeldinge, Zeeland

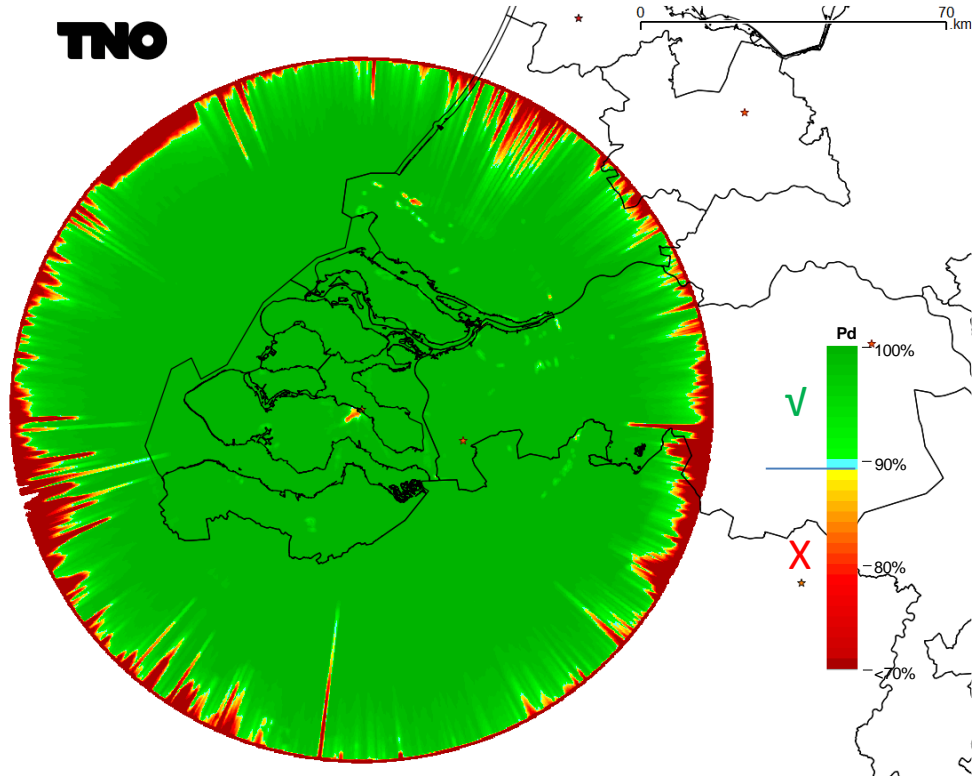
In 2022 is de nieuwe Scanter 4002 infill radar van de firma Terma bij de radarpost Wemeldinge in Zeeland in gebruik genomen, zie figuur 33. Onderzoek van TNO heeft aangetoond, dat dit het meest effectieve methode is om de huidige radardekking van de bestaande verkeersleidingsradars boven zuidwest Nederland te borgen. 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 bij Woensdrecht met een maximum bereik van typisch 110 km en 11 km in hoogte niet vervangen.



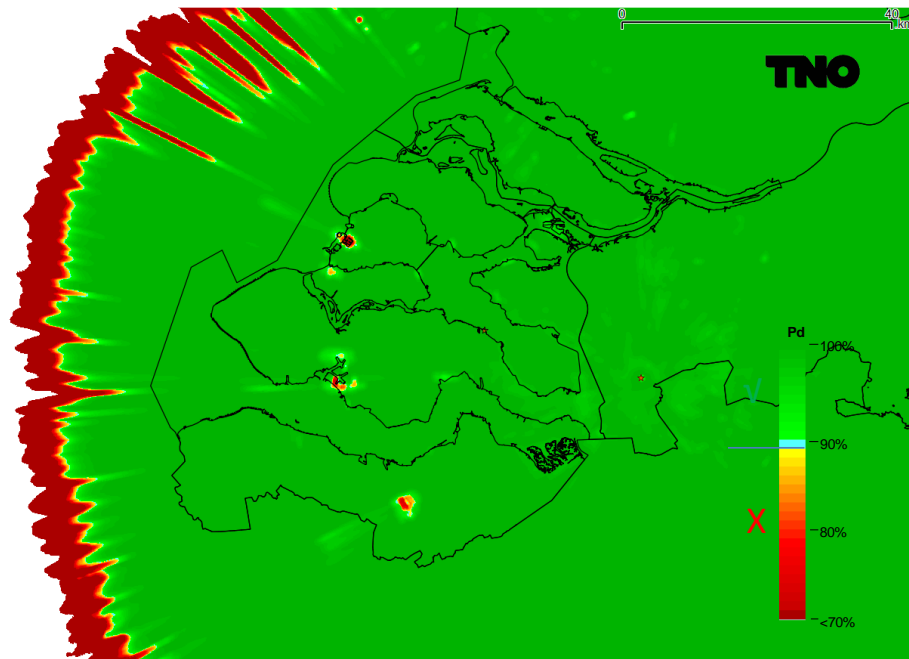
Figuur 33 De radartoren van de Scanter 4002 infill radar nabij de radarpost Wemeldinge.

In figuur 34 is berekende radarbereik weergegeven van de Scanter 4002 infill radar te Wemeldinge op een doelhoogte van 1000 voet voor de baseline 2021 windturbine-configuratie. De verbetering van de radardekking die deze radar oplevert boven zuidwest Nederland wordt geïllustreerd door een vergelijking tussen figuur 35, met alleen de radardekking van de MASS radars en TAR West en figuur 36 met de aanvulling door de Scanter 4002. Duidelijk is de zien dat de eerdere overschrijdingen van de norm boven

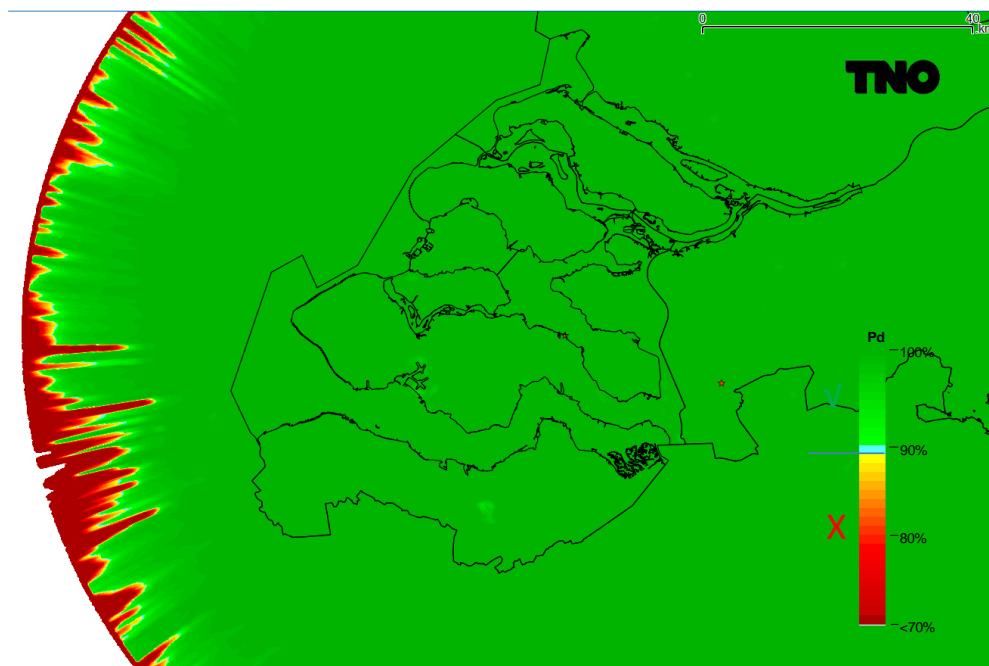
bijvoorbeeld de windturbines bij de Oosterscheldekering zijn verdwenen na de toevoeging van de Scanter radar.



Figuur 34 Het berekende radarbereik van de Scanter 4002 infill radar te Wemeldinge op een doelhoogte van 1000 voet voor de baseline 2021 windturbineconfiguratie.



Figuur 35 De radardekking boven zuidwest Nederland op 1000 voet berekend met alleen de MASS radars en de TAR West.



Figuur 36 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.

4.5 Belgische militaire verkeersleidingsradar bij Kleine Brogel

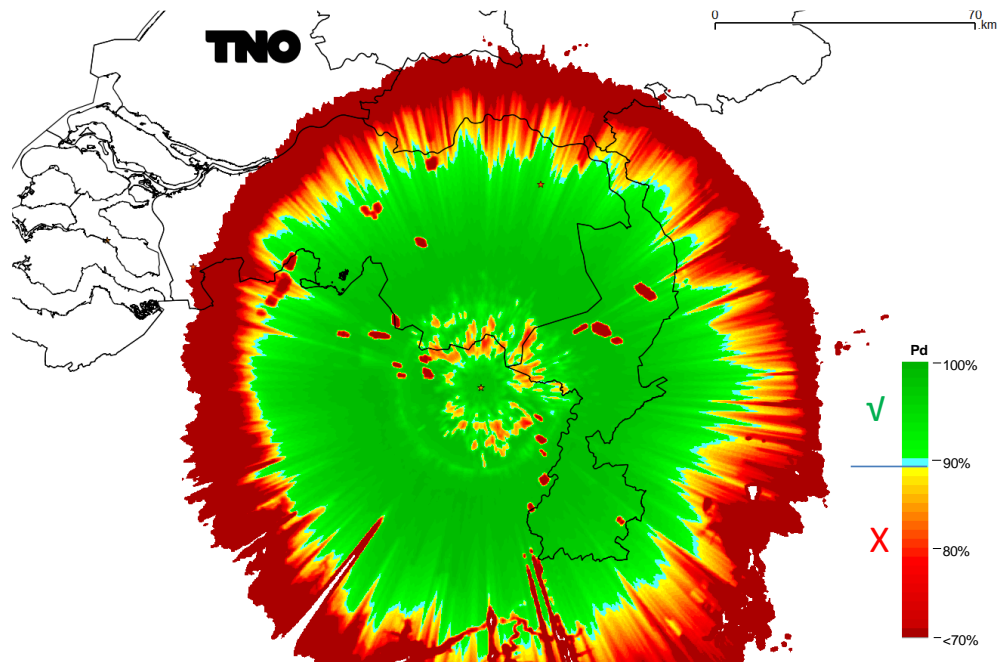
Naast de radardekkingsproblemen boven zuidwest Nederland is er eveneens een gebied boven Noord-Limburg met enkelvoudige radardekking vanuit Volkel waar de radardekking door windturbinebouwplannen onder druk staat.

De Belgische overheid heeft een nieuwe ASR-M radar geplaatst bij op de luchtmachtbasis Kleine Brogel van de firma Intersoft-Electronics. Deze radar heeft de oude TA-10M radar op deze luchtmachtbasis vervangen, zie figuur 33.



Figuur 37 De nieuwe ASR-M radar op de Belgische Militaire Luchtmachtbasis Kleine Brogel. De oude TA-10M radar is nog zichtbaar links van deze radar [Foto Intersoft-Electronics].

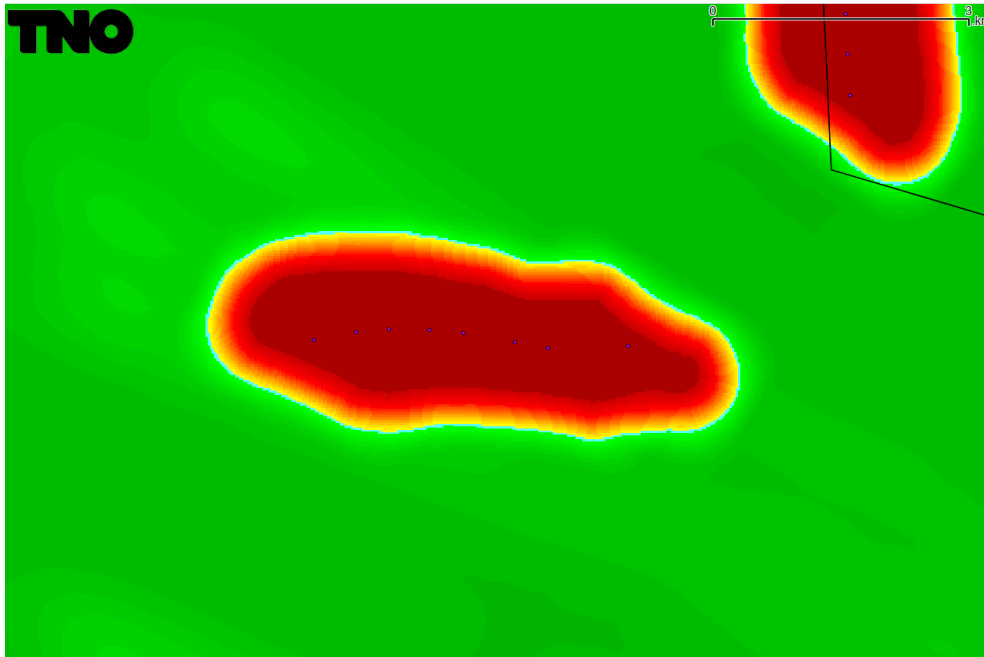
De Nederlandse overheid heeft besloten deze nieuwe radar op te nemen in het Nederlandse verkeersleidingsradarnetwerk, voor een verdere ondersteuning van de primaire verkeersleidingsradardekking in Zuidoost Nederland. Daartoe zijn er tussen de Nederlandse en Belgische overheden afspraken gemaakt voor het delen van de radardata, waardoor deze radar aanvullende radardekking kan gaan verlenen boven Noord Limburg, zie figuur 38.



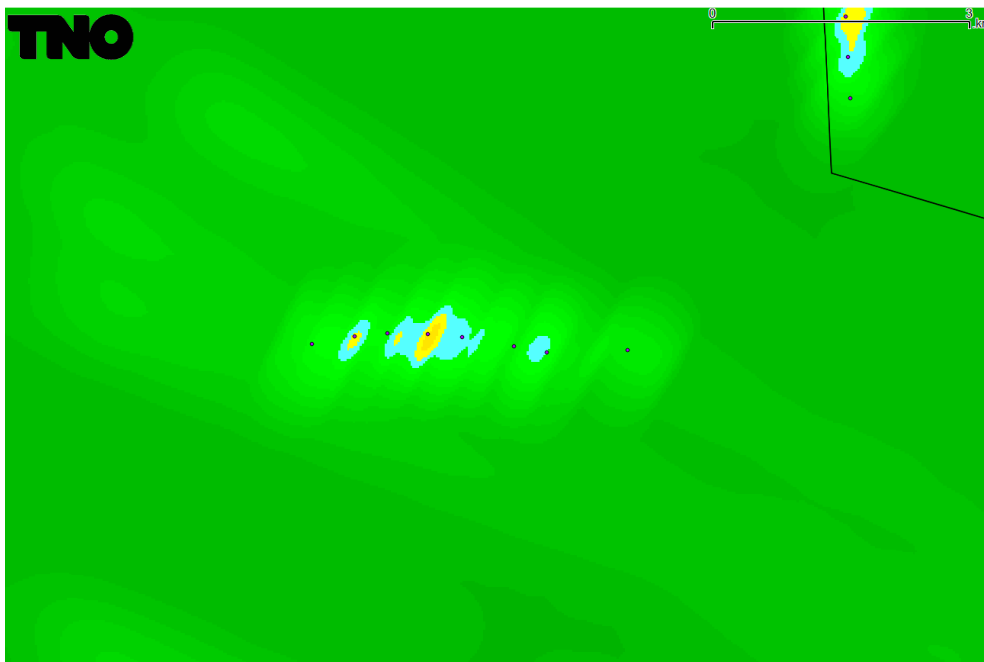
Figuur 38 Het berekende radarbereik van de ASR-M radar bij Kleine Brogel op een doelhoogte van 1000 voet voor de baseline 2021 windturbineconfiguratie.

Om de effecten van de windturbines te onderdrukken is de radar uitgerust met de Vertical Clutter Cancellation (VCC) techniek. Bij de activering van deze techniek boven een windturbine positie verbeterd het detectiegedrag aanzienlijk, zoals te zien is bij de verschillen tussen figuur 39 en figuur 40.

Bij de radarhinderberekening van een windturbinebouwplan binnen het bereik van de radar bij Kleine Brogel, zal in eerste instantie worden onderzocht in hoeverre het bouwplan binnen de norm blijft voor alleen het radarnetwerk binnen Nederland. Als dit niet het geval is, dan zal daarna een berekening uitgevoerd worden met de radar bij Kleine Brogel zonder VCC. Als dit geen soelaas biedt, dan zal in twee instantie de VCC techniek boven het betreffende bouwplan worden geactiveerd.



Figuur 39 De berekende detectiekans van de ASR-M radar bij Kleine Brogel boven een windpark op een doelhoogte van 1000 voet zonder dat de VCC techniek is geactiveerd.



Figuur 40 De berekende detectiekans van de ASR-M radar bij Kleine Brogel boven een windpark op een doelhoogte van 1000 voet waarbij de VCC techniek wel is geactiveerd.

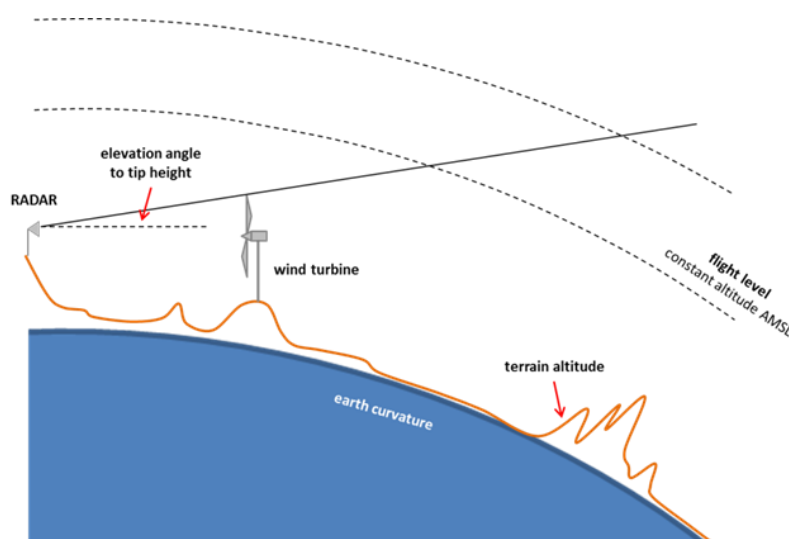
4.6 Secundaire radars

Zoals reeds eerder aangegeven kunnen obstakels tussen het vliegtuig en de secundaire radarantenne een effect hebben op de peilingsmeting van de radars. Bij het onderzoek naar deze effecten van een obstakel worden een aantal stappen doorlopen.

- › In eerste instantie wordt onderzocht of de windturbine een effect heeft op de radarhorizon van de radar. Dit hoeft namelijk niet altijd het geval te zijn. Het bereik kan namelijk ook beperkt worden door een heuvel achter de windturbines of een ander hoog obstakel.
- › Daarna wordt een line-of-sight analyse uitgevoerd. Daaruit moet blijken of de radar zicht heeft op de windturbine. Als dit het geval is, dan kan de windturbine impotentie effect hebben op het functioneren van de secundaire radar. Voor deze analyse wordt een verticale doorsnijing gemaakt van het zicht vanuit de radar naar de windturbine. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen het zicht op de mast en gondel, dus vanaf de grond tot de ashoogte en het zicht op het windturbineblad, dus vanaf de ashoogte tot de tiphoogte.
- › Vervolgens worden op basis van bovenstaande analyses horizontale dekkingsdiagrammen gemaakt. Dit gebeurt op verschillende hoogtes en toont het bereik aan van de secundaire radar op de verschillende hoogtes, en de sectoren en afstanden waar de peilingsmeting van de secundaire radar wordt beïnvloed door de mast en gondel of door alleen het blad van de windturbine.
- › Tot slot wordt voor beide sectoren de peilingsfout uitgerekend. Deze peilingsfout wordt ook wel de *Off-Boresight Error* of OBE genoemd.

4.6.1 Bepaling radar horizon

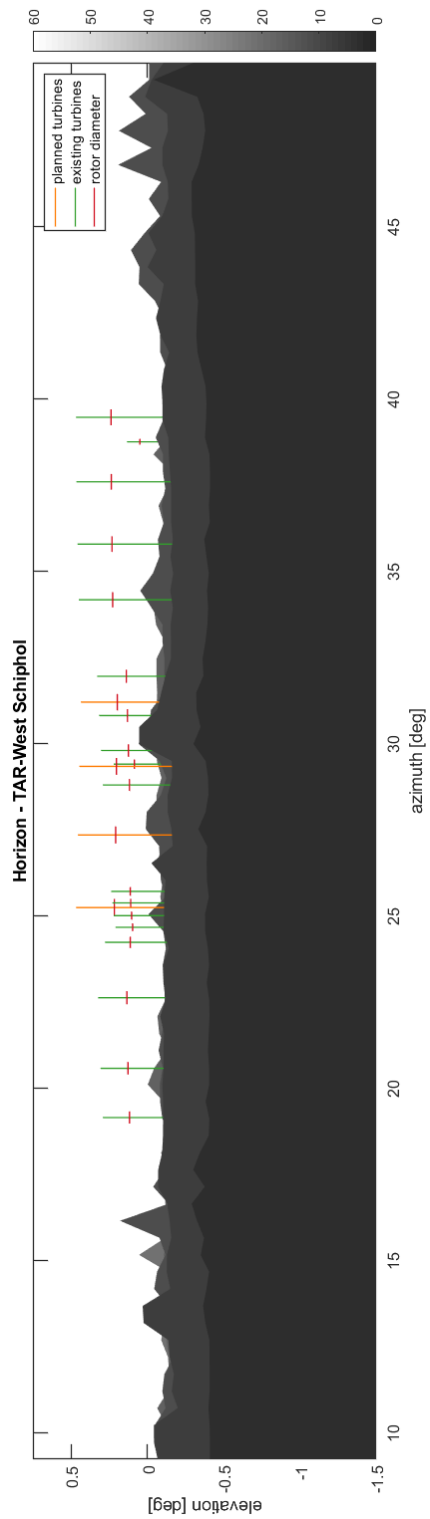
In eerste instantie wordt onderzocht of een windturbine invloed heeft op de radarhorizon van de radar. Als dit het geval is, dan zal door plaatsing van de turbines, het bereik van de secundaire radar afnemen. Een windturbine beïnvloedt de radarhorizon wanneer de elevatiehoek naar het hoogste punt van de turbine groter is dan de elevatiehoek naar alle andere objecten met dezelfde azimuthhoek, bekeken tot aan het maximale bereik van de secundaire radar (150 NM voor de verkeersleidingsradars in Nederland). Gegeven de elevatiehoek naar het hoogste punt van de turbine, worden luchtvaartuigen op verschillende vlieghoogtes beïnvloed op verschillende afstanden tot de radar, zie figuur 21.



Figuur 21 Een overzicht van de algemene line-of-sight geometrie met een vaste azimuth. De elevatiehoek naar het hoogste punt van de turbine wordt aangegeven met een grijze lijn. Transponders signalen vanuit vliegtuigen boven deze lijn worden niet beïnvloed door de windturbine. Transponders van vliegtuigen onder deze lijn worden mogelijk beïnvloed door de turbine.

In figuur 22 worden azimut-elevatie plots van het terrein inclusief de windparken (de radarhorizon) weergegeven. Een oranje of groene lijn geeft de windturbine aan tot aan de tip. De horizontale rode lijn geeft de wieken van de turbine aan op de ashoogte. De schalen van de horizontale en verticale as is verschillend, waardoor de turbines hoog en smal lijken. De breedte van de wieken in horizontale richting (azimut) is de werkelijke breedte van de turbine, gezien vanuit de radar.

figuur 22 toont dat de radar line-of-sight heeft naar alle bestaande en geplande windturbines. In dit voorbeeld beslaat het windpark een sector van ongeveer 7°, van 25° tot 32° in noordwestelijke richting gezien vanuit de radar. De radarhorizon wordt voor de radar niet verhoogd in elevatie.



Figuur 22 Overzicht van de radar horizon in de richting van het bouwplan, gezien vanuit de secundaire radar.

4.6.2 Line-of-sight analyse

In de volgende stap worden de zichtlijnen, de zogenaamde line-of-sight of LoS, geanalyseerd voor een aantal afzonderlijke windturbine afzonderlijk. Voor de radar is dit in dit voorbeeld de dichtstbijzijnde en verste geplande turbines. Voor elk van deze turbines wordt een figuur gemaakt zoals figuur 21. Met behulp van deze figuren wordt bepaald op welke doel afstand en vlieghoogte de turbine het functioneren van de secundaire beïnvloed.

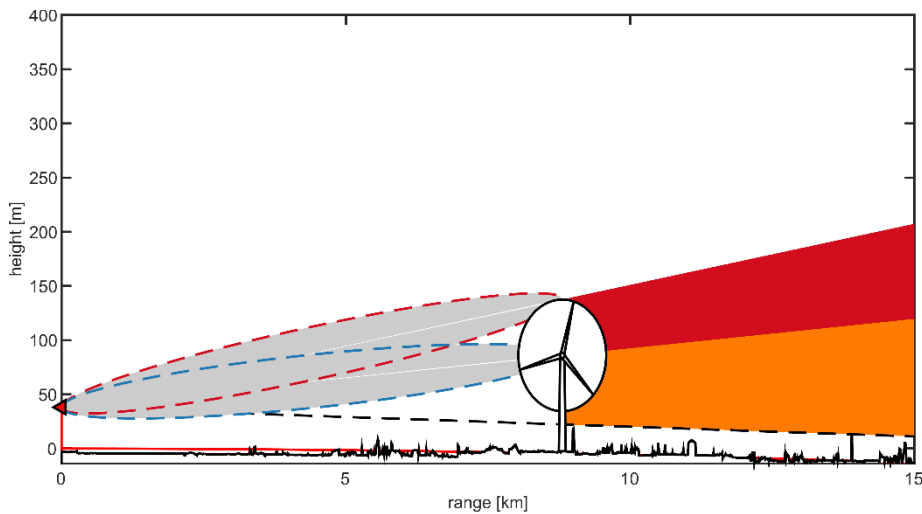
In alle LoS figuren die volgen wordt de kromming van de aarde weergegeven met een rode lijn. De hoogte van het terrein op de lijn radarantenne-windturbine wordt weergegeven met een zwarte lijn. De radar zelf wordt aangegeven met een rode driehoek aan de linkerkant van de figuur. De turbine is in elke figuur getekend op een bepaalde afstand. De Fresnel⁷ zone van de eerste orde richting het hoogste punt van de turbine en het dak van de gondel zijn getekend in gestippelde rode en blauwe ellips, respectievelijk.

Een zwarte stippellijn passeert het punt op de grond met de hoogste elevatie hoek gezien vanuit de radar antenne. Dit is het punt dat de radarhorizon bepaald in afwezigheid van de windturbine. Verder zijn er een rode en oranje zone getekend. Wanneer de oranje en rode zone zichtbaar zijn, wordt de radarhorizon verslechterd door de windturbine. De rode zone geeft de vermindering van de radarhorizon door de bladen van de turbine aan. De oranje zone geeft de vermindering van de radarhorizon door de mast en gondel van de windturbine. In elk figuur worden de vlieghoogtes van 3000 ft, 5000 ft en 10000 ft weergegeven.

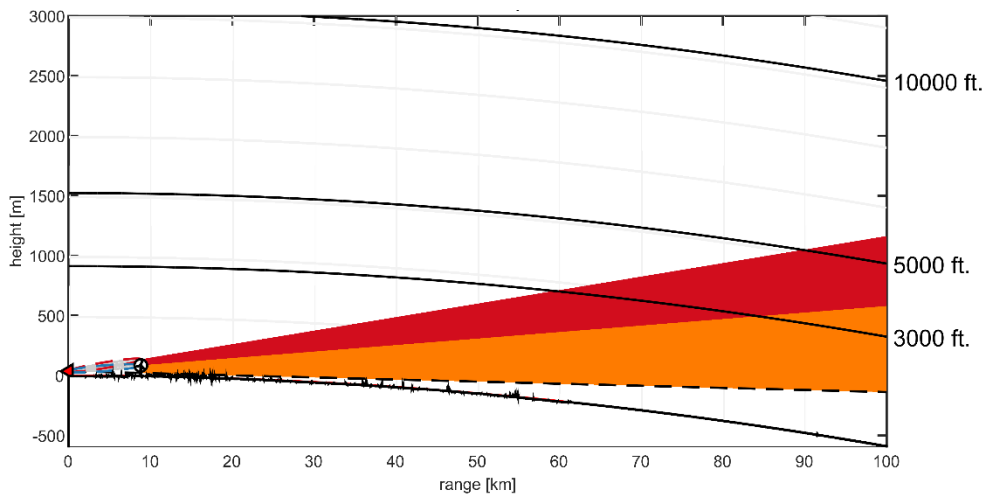
In de rode en oranje zones is de radar niet volledig 'blind'. De rode en oranje kleuren geven slechts aan waar de beïnvloeding van de windturbines op de radar performance kan voorkomen. In deze regionen komt het signaal van een transponder in het vliegtuig richting de secundaire radarantenne langs een windturbine. Dit betekent dat het golfvront van het signaal, uitgezonden door de transponder, verstoord zal worden door de windturbine. Maar dit betekent echter nog niet dat de impact op de positie bepaling door de secundaire radar significant wordt beïnvloed. De fout in de positie bepaling door de turbines in het pad van het signaal wordt verderop vastgesteld.

In figuur 23 wordt de LoS getoond naar de dichtstbijzijnde en verst verwijderde geplande windturbine gezien vanuit de secundaire radar. In figuur 24 wordt nogmaals de LoS naar windturbine getoond, maar nu doorgetrokken tot een afstand van 100 km van de secundaire radar. De bovenzijde van het rode vlak in het figuur geeft een indicatie op welke vlieghoogte de verstoring van het windpark nog van invloed is. Op 100 km van de radar zal de peiling van vliegtuigen in dit voorbeeld tot een hoogte van circa 1750 m beïnvloed worden voor door de betreffende windturbine.

⁷ De Fresnel zone wordt in de figuren als een tweedimensionaal object getoond, maar in werkelijkheid is het een (driedimensionale) ellipsoïde. Ter hoogte van de bebouwing is de ellipsoïde circa 50 m breed. Alleen een gebouw dat hoger is dan de groene lijn en breder dan 50 m zal dus de LoS naar de windturbine verhinderen.



Figuur 23 Line-of-sight van de secundaire radar naar de dichtstbijzijnde geplande windturbine. De windturbine staat volledig in het zicht van de radar.



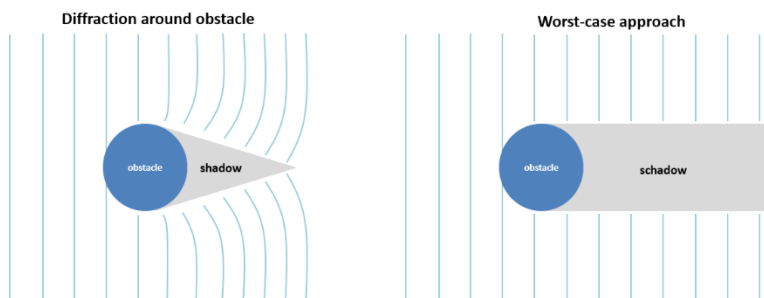
Figuur 24 Line-of-sight van secundaire radar, maar nu doorgetrokken tot 100 km vanaf de radar. De rode lijn geeft een indicatie op welke vlieghoogte de verstoring van het windpark nog van invloed is. Op 100 km van de radar zal de peiling van vliegtuigen tot een hoogte van circa 1750 m beïnvloed worden. Zonder de turbine zou dit een hoogte zijn van circa 450 m.

4.6.3 Horizontale line-of-sight dekkingsdiagrammen

De resultaten uit de voorgaande analysestappen geven inzicht in welke mate het windpark de individuele secundaire radar beïnvloedt. In deze stap bekijken we de beïnvloede gebieden met behulp van een horizontale dekking diagrammen. De dekkingdiagrammen worden getoond voor verschillende vlieghoogtes van 3000, 5000 en 10000 voet. Een horizontaal dekkingdiagram laat beter zien of een secundaire radar een doelwit kan “zien” op een gegeven vlieghoogte.

Een windturbine in het pad van de zichtlijn tussen de radar en het doelwit beïnvloedt de zichtbaarheid, maar het doelwit zal in elk geval onzichtbaar zijn. Dit principe wordt

weergegeven in figuur 45. Radio golven buigen af rond een obstakel, dit limiteert de schaduwzone direct achter het obstakel.

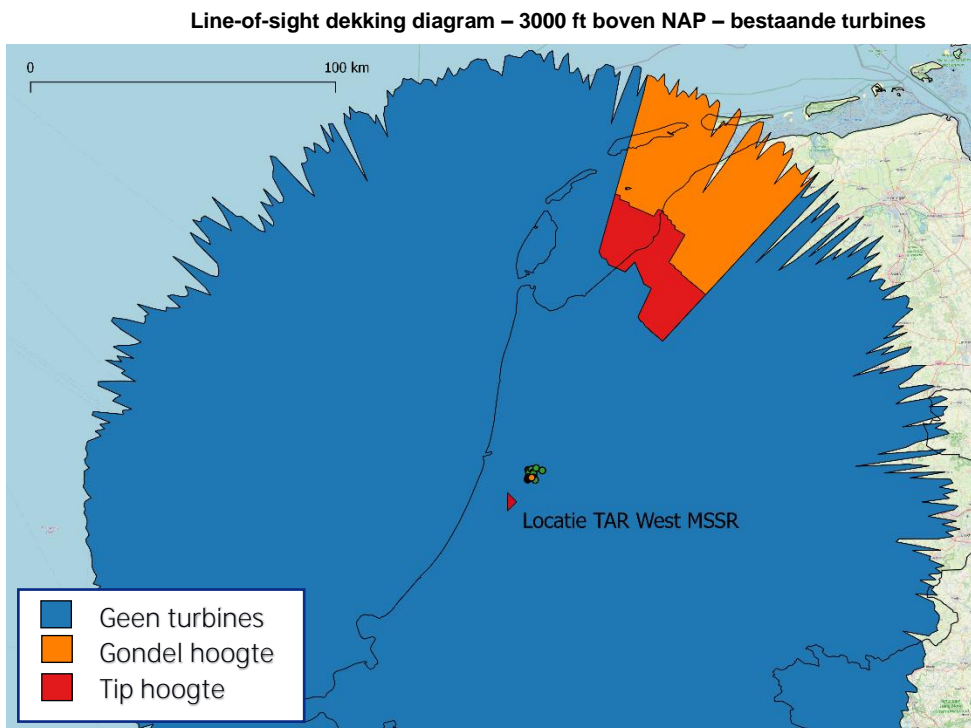


Figuur 45 Grafische weergave van diffractie effecten

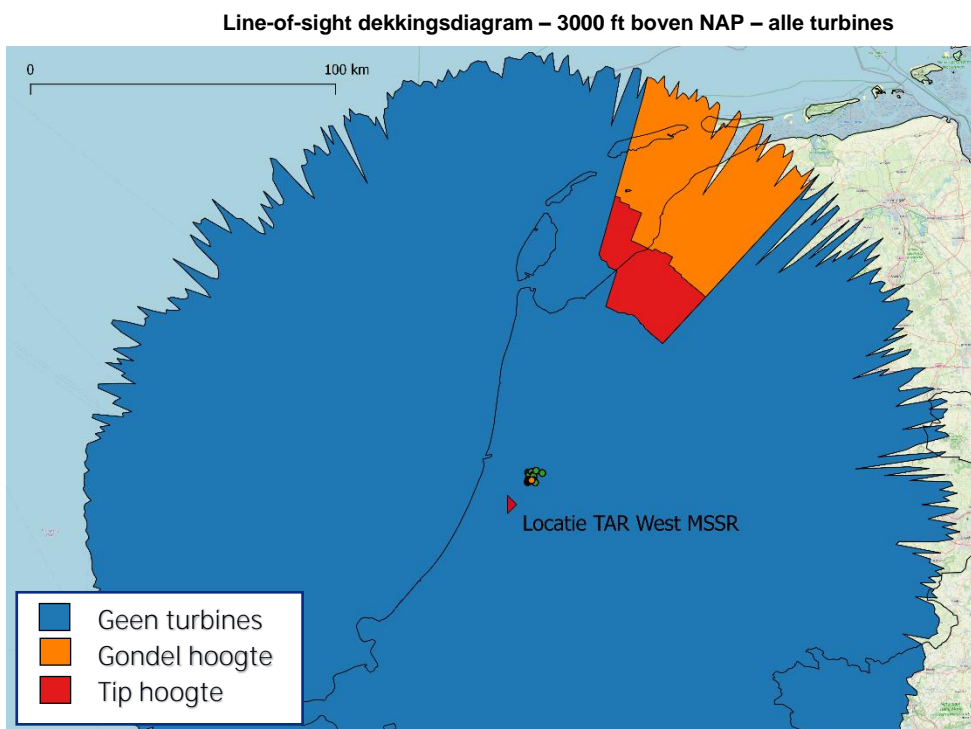
De beïnvloede azimuthzone van een windturbine is vastgelegd op 2.5° aan weerszijden van de turbine, dus 5° in het totaal. Buiten deze 2.5° azimuthzone is de impact van de windturbine op de peilingshoek bepaling kleiner dan de peilingshoek nauwkeurigheid. Dit wordt later uitgebreider besproken.

Voor elke vlieghoogte worden twee situaties in beschouwing genomen: zowel de dekking van alleen de bestaande turbines wordt bekeken als de dekking van de bestaande turbines met het bouwplan. Door deze figuren te vergelijken wordt het effect van de geplande turbines op de line-of-sight vastgesteld. Een voorbeeld van de dekkingsdiagrammen op een doelhoogte van 3000 voet, 5000 voet en 10000 voet worden getoond in de figuur 46 tot en met figuur 51. Gebieden boven Nederland die worden beïnvloed door de mast tot en met de hoogte van de gondel van de turbines worden in oranje weergegeven. Gebieden boven Nederland die beïnvloed worden door de gondel hoogte tot en met de tiphoogte worden in het rood getoond.

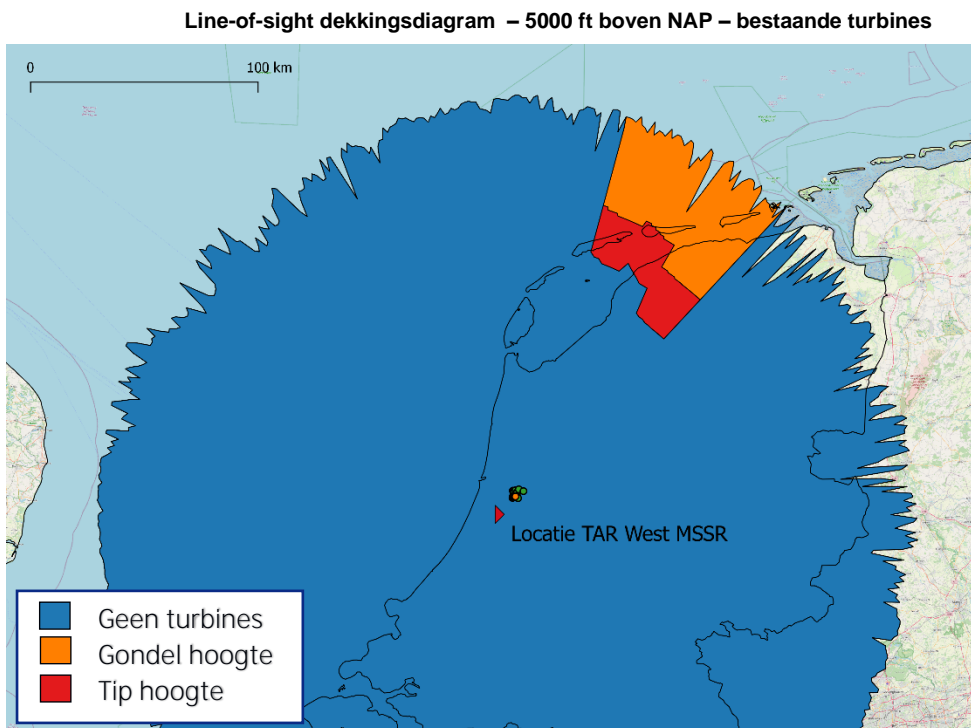
In de figuren kan goed worden gezien dat het bereik van de secundaire radar groter wordt naarmate het vliegtuig hoger vliegt. Verder is dit voorbeeld zichtbaar dat de nieuw geplande turbines de reeds verstoorde azimuthzone niet verder verbreden. In de zone 21° tot 36° is de dekking verminderd, gezien vanuit de secundaire radar. Wel veroorzaken de nieuwe windturbines ook op kortere afstand van de radar effecten.



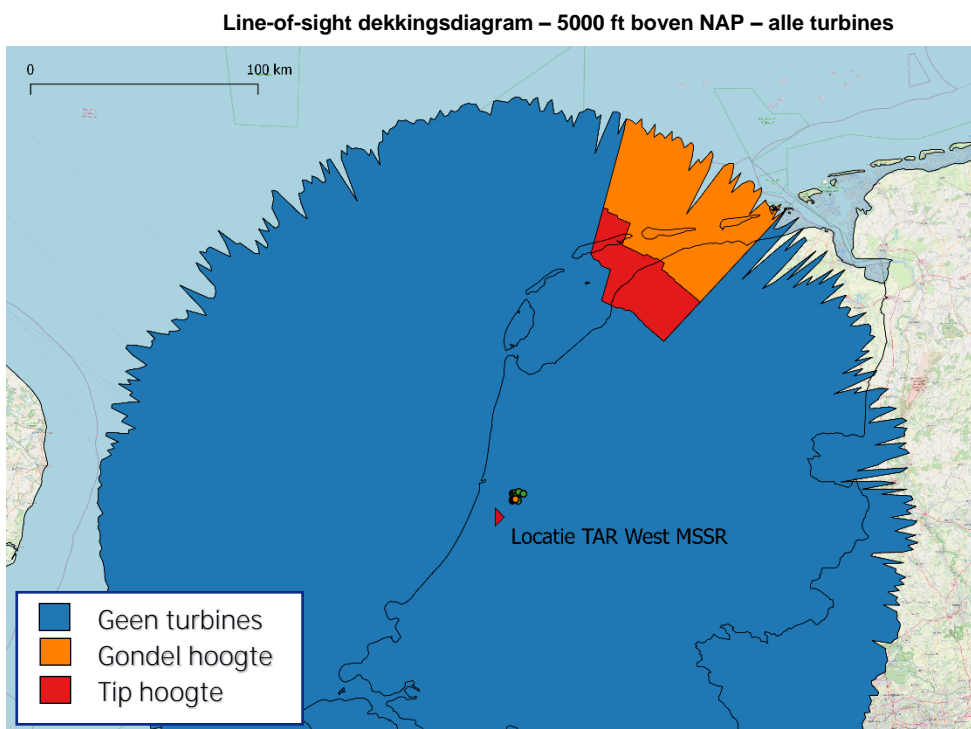
Figuur 46 Horizontaal line-of-sight dekkingdiagram voor een doelwit op 3000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Alleen de bestaande windturbines zijn in beschouwing genomen.



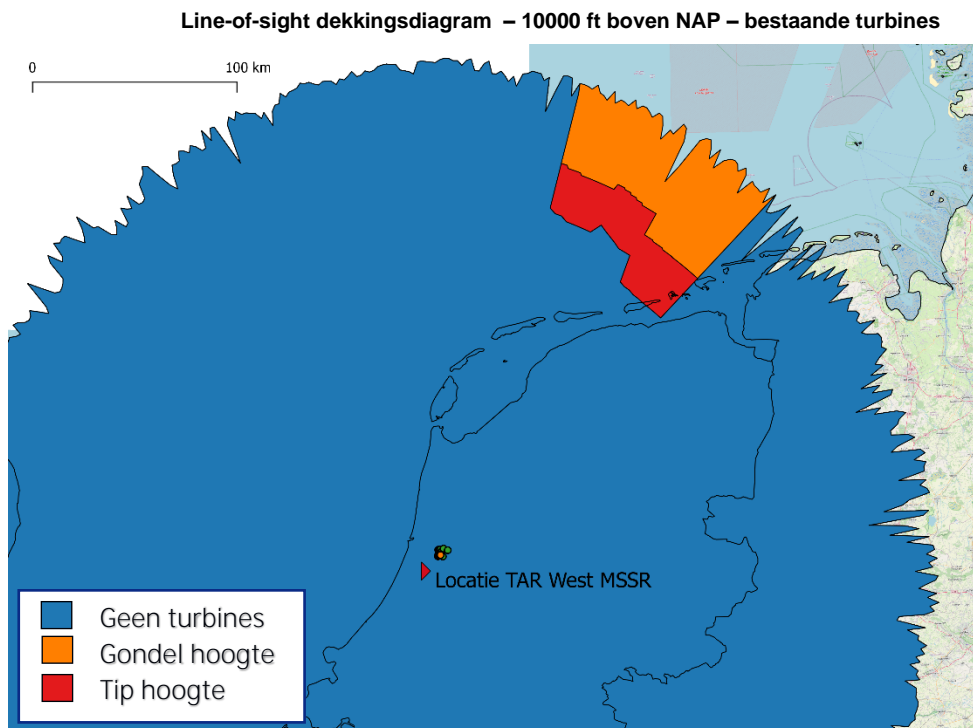
Figuur 47 Horizontaal line-of-sight dekkingdiagram op 3000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Zowel de bestaande windturbines als het bouwplan zijn in beschouwing genomen.



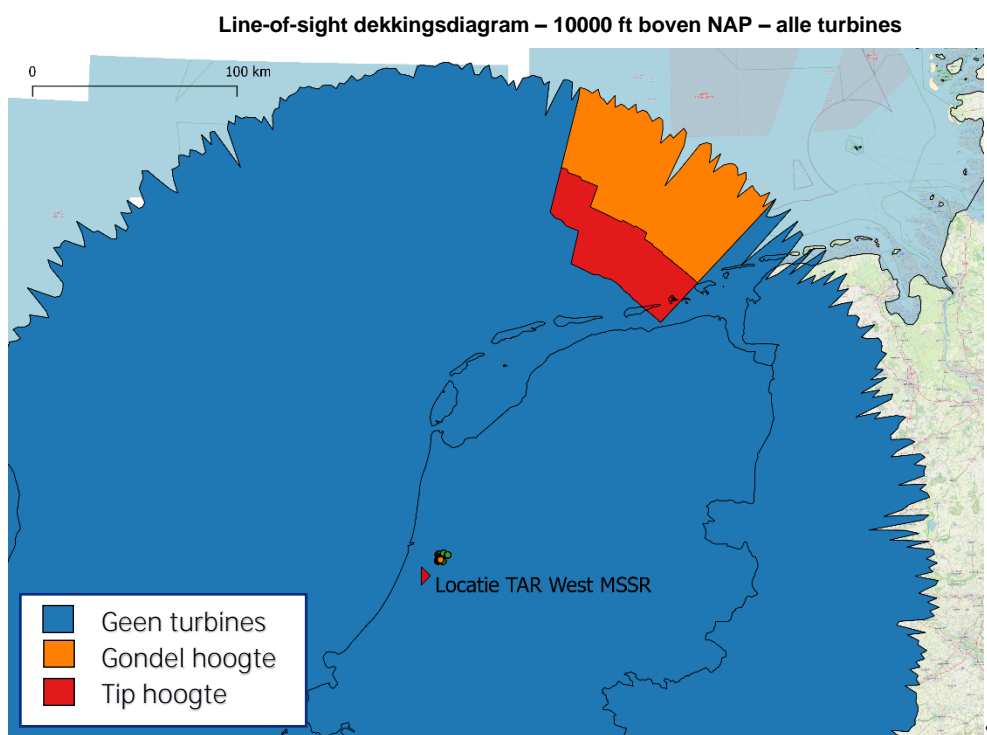
Figuur 48 Horizontaal line-of-sight dekking diagram voor een doelwit op 5000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Alleen de bestaande windturbines zijn in beschouwing genomen.



Figuur 49 Horizontaal line-of-sight dekking diagram voor een doelwit op 5000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Zowel de bestaande windturbines als het bouwplan zijn in beschouwing genomen.



Figuur 50 Horizontaal line-of-sight dekking diagram voor een doelwit op 10000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Alleen de bestaande windturbines zijn in beschouwing genomen.



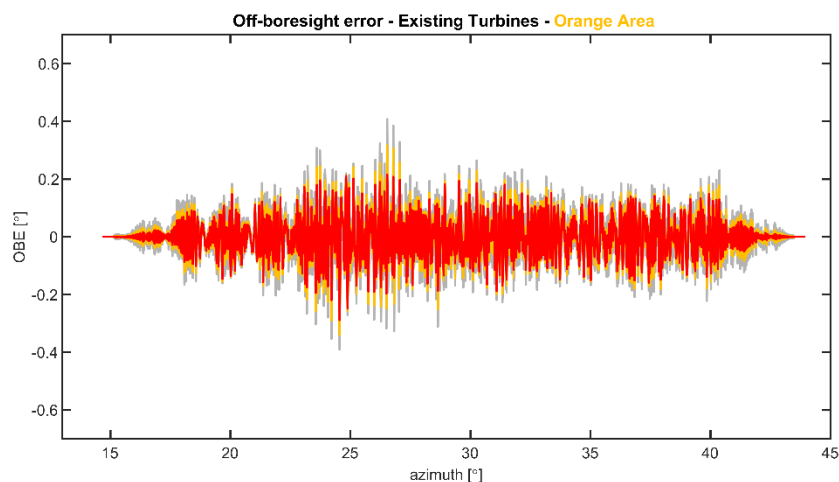
Figuur 51 Horizontaal line-of-sight dekking diagram voor een doelwit op 10000 voet boven NAP gezien vanuit de secundaire radar. Zowel de bestaande windturbines als het bouwplan zijn in beschouwing genomen.

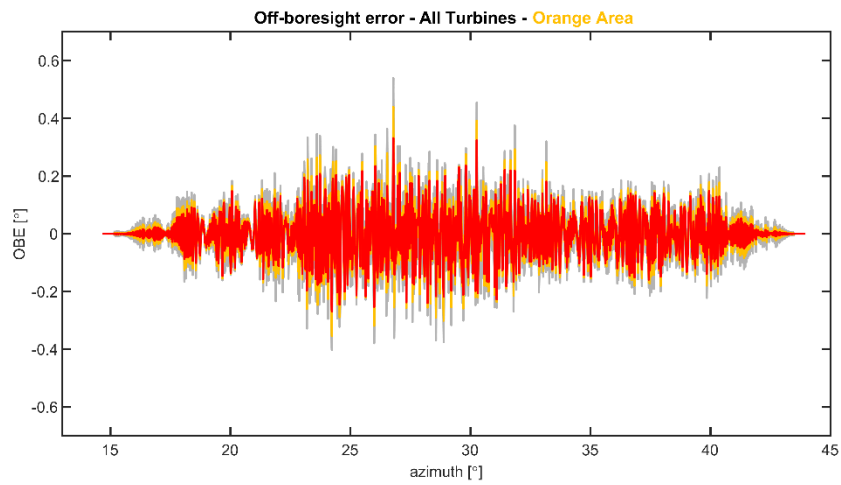
4.6.4 Peilingsfouten berekeningen

Om de peilingsfout te bepalen wordt door TNO gebruik gemaakt van een model waarbij de windturbines worden gemodelleerd als (oneindig lange) cilinders. Een inkomende vlakke golf valt in op de cilinder en wordt verstoord. Voor deze verstoring bestaat een analytische oplossing. TNO heeft de methode verder uitgebreid, zodat nu de verstoring van meerdere obstakels kan worden gekwantificeerd. Hierbij wordt de onderlinge invloed van de windturbines genegeerd. Als twee windturbines, gezien vanaf de radar, achter elkaar staan, wordt alleen de windturbine het dichtst bij de radar meegenomen in de berekening. Aangezien de windturbines worden gemodelleerd als oneindig lange cilinders, kan iedere windturbine in het model worden beschreven door een enkele parameter: de diameter van de cilinder. In de simulaties is ervoor gekozen om de breedte van de cilinder afhankelijk te maken van de zichtbaarheid van de gondel. Wanneer de gondel zichtbaar is, is de breedte van de cilinder gelijk aan de gemiddelde breedte en lengte van de gondel. Wanneer de gondel niet zichtbaar is, wordt de breedte van de wijk gekozen als breedte van de cilinder.

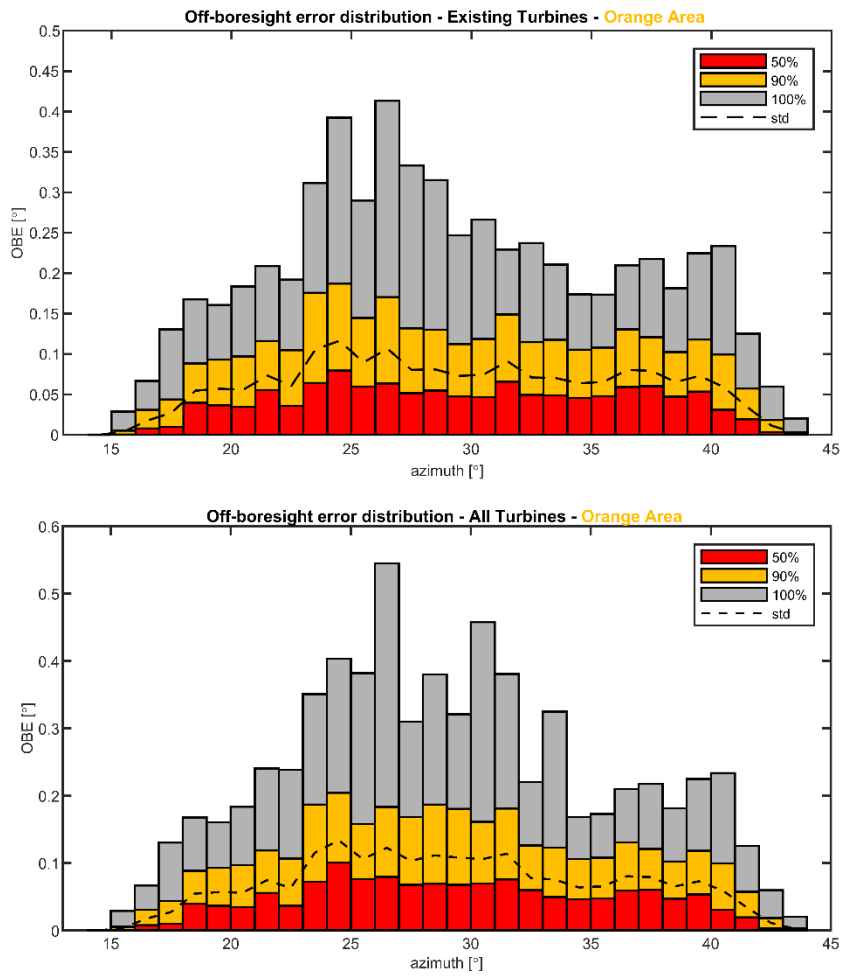
Verder wordt in de simulatie aangenomen dat er altijd een wijk in verticale positie staat. De volledige tiphoogte van de turbine wordt gebruikt in de analyse. Aangezien er niet altijd een wijk in verticale positie staat, gaat het hier om een worst-case aanname.

In figuur 32 wordt de peilingsfout getoond voor de bestaande situatie en voor de situatie met het nieuwe bouwplan. Dit zijn de resultaten zoals deze direct in het TNO model wordt bepaald als functie van azimuth in de oranje zone, dus het gebied waar de peilingsfouten worden veroorzaakt door de mast en gondel. Deze peilingsfouten worden in de figuur aangeduid met off-boresight error, of OBE. De rode, oranje en grijze kleur komen overeen met het 50^e, 90^e en 100^e percentiel, respectievelijk. Met andere woorden, de peilingsfout is in 90% van de gevallen kleiner dan de waarde aangegeven met de oranje lijn. De maximale absolute peilingsfout is circa 0.37°. Zoals te zien, gedraagt de peilingsfout zich zeer grillig. Alleen de absolute fout is van belang. In figuur 33 wordt daarom ook nog dezelfde grafiek op een andere manier gepresenteerd voor zowel de bestaande als de nieuwe situatie. In dit figuur wordt de absolute peilingsfout weergegeven per azimuthsector van 1.0°. De drie kleuren geven wederom het 50^e (rood), 90^e (oranje) en 100^e (grijs) percentiel weer. De standaarddeviatie is ook weergegeven met een zwarte stippellijn. figuur 34 en figuur 35 tonen vergelijkbare resultaten, maar nu berekend voor in de rode zone, dus het gebied waar de peilingsfouten worden bepaald door het rechtopstaande blad van de windturbine.

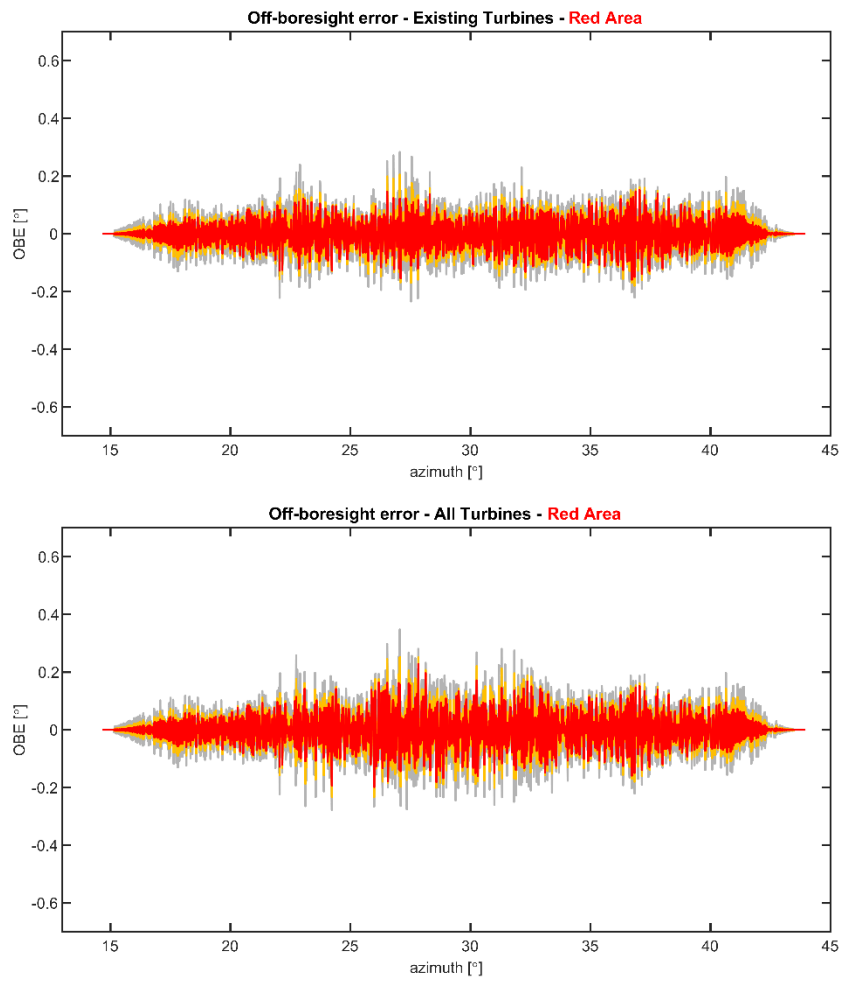




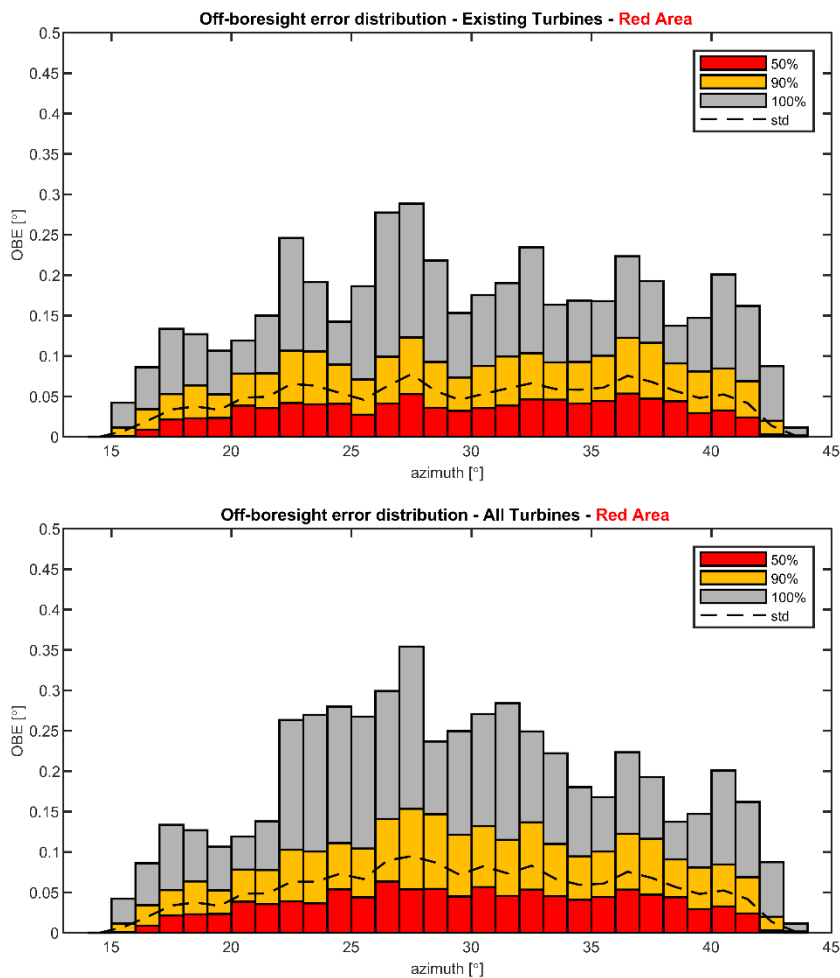
Figuur 32 Boven: de peilingshoek fout als functie van azimuth voor de bestaande turbines voor de secundaire radar, in de oranje zone. De maximale absolute fout voor de oranje zones is 0.41° . Onder: hetzelfde als boven, maar nu voor zowel de bestaande turbines als het bouwplan. De maximale absolute fout is hier 0.54° .



Figuur 33 Boven: de cumulatieve verdeling van de absolute peiling fout per azimuth sector van 1.0° wanneer alleen de bestaande turbines worden beschouwd. Voor elke azimuth sector worden de waarden van het 50^{ste}, 90^{ste} en 100^{ste} percentiel weergegeven, net als de standaard deviatie (1 σ) van 68%, aangenomen dat de fout normaal verdeeld is. De maximale peilingshoek fout van de oranje zone van 0.41° komt voor bij een hoek van 26°-27°. In 90% van de gevallen is de peilingshoek fout in deze sector onder de 0.17° en in 50% van de gevallen onder de 0.06°. Onder: Hetzelfde als de bovenste figuur, maar nu voor zowel de bestaande turbines als het bouwplan. De maximale absolute fout van 0.54° komt voor in de azimuth sector van 26°-27°. Het 90^{ste} percentiel is 0.18° en het 50^{ste} percentiel is 0.08°.



Figuur 34 Boven: de peilingsfout als functie van azimut voor de bestaande turbines voor de secundaire radar, in de rode zone. De maximale absolute fout voor de rode zones is 0.28°. Onder: hetzelfde als boven, maar nu voor zowel de bestaande turbines als het bouwplan. De maximale absolute fout is hier 0.35°.



Figuur 35 Boven: de cumulatieve verdeling van de absolute peiling fout per azimuth sector van 1.0° wanneer alleen de bestaande turbines worden beschouwd. Voor elke azimuth sector worden de waarden van het 50^{ste}, 90^{ste} en 100^{ste} percentiel weergegeven, net als de standaard deviatie (1 σ) van 68%, aangenomen dat de fout normaal verdeeld is. De maximale peilingshoek fout van de rode zone van 0.29° komt voor bij een hoek van 27°-28°. In 90% van de gevallen is de peilingshoek fout in deze sector onder de 0.12° en in 50% van de gevallen onder de 0.05°. Onder: Hetzelfde als de bovenste figuur, maar nu voor zowel de bestaande turbines als het bouwplan. De maximale absolute fout van 0.35° komt voor in de azimuth sector van 27°-28°. Het 90^{ste} percentiel is 0.15° en het 50^{ste} percentiel is 0.05°

De resultaten van de voorgaande OBE berekeningen zijn samengevat in tabel 1. Het 50^{ste}, 90^{ste} percentiel, de maximale fout en de standaard deviatie in de azimuthsector met de grootste maximale peilingsfout worden gegeven voor alle situaties. De standaardafwijking (σ) in de oranje zone, dus de situatie waarbij de effecten worden bepaald door de mast en gondel, stijgt van 0.11° naar 0.13°. De standaardafwijking (σ) in de rode zone, dus de situatie waarbij de effecten worden bepaald door alleen het rechtopstaande turbineblad, stijgt van 0.08° naar 0.09°.

Tabel 1 De peilingsfout statistieken voor de TAR West MSSR in de azimuthsector met de grootste peilingsfout

| | 50 % | 90 % | 100 % | σ | Azimuth Sector (°) |
|--------------------------------|------|------|-------|----------|--------------------|
| Oranje (Mast en gondel) | | | | | |
| Bestaand | 0.06 | 0.17 | 0.41 | 0.11 | 26-27 |

| | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|-------|
| Alles | 0.08 | 0.18 | 0.54 | 0.12 | 26-27 |
| Rood (turbineblad) | | | | | |
| Bestaand | 0.05 | 0.12 | 0.29 | 0.08 | 27-28 |
| Alles | 0.05 | 0.15 | 0.35 | 0.09 | 27-28 |

Maximaal toelaatbare standaardafwijking, zoals vermeld in de Rarro is 0.08°. Als de berekende fout hieronder blijft, dan kan het bouwplan op basis van deze berekening zondermeer gerealiseerd worden. In de in dit voorbeeld geschetste situatie zou het bouwplan daar echter niet aan voldoen. Waar het bij de bepaling van de peilingsfouten feitelijk om gaat is de afstandsfout bij het bepalen van de positie van het vliegtuig. Dit is niet alleen afhankelijk van de peilingsfout, maar ook van de afstand van het vliegtuig tot de radar. Om de fouten in perspectief te plaatsen kunnen de peilingsfout omgerekend worden naar een afstandsfout op een bepaalde afstand tot de radar. Dit is de afstand loodrecht op de afstand naar het doelwit gezien vanuit de secundaire radar. Dit is uitgerekend voor de het 50^{ste}, 90^{ste} en 100^{ste} percentiel en voor de afstanden van de secundaire radar van 50, 100, 200, 222 en 278 km. De grootste peilingsfout uit de resultaten wordt gebruikt. De resultaten staan in de onderstaande tabel. Zoals te zien in de tabel correspondeert bijvoorbeeld een peilingsfout van 0.18° in een afstandsfout van 314 m op een afstand van 100 km.

Tabel 2 De peilingsfout omgerekend naar een afstand loodrecht op de doelwit afstand. De fouten zijn uitgerekend voor verschillende afstanden tot de MSSR.

| OBE [°] | Percentile [%] | Azimuth sector [°] | Cross-range error in [m] | | | | |
|------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | Range to target | | | | |
| | | | 50 km 27 NM | 100 km 54 NM | 200 km 108 NM | 222 km 120 NM | 278 KM 150 NM |
| 0.08 | 50 | 26-27 | 70 | 139 | 279 | 310 | 388 |
| 0.18 | 90 | 26-27 | 157 | 314 | 628 | 697 | 873 |
| 0.54 | 100 | 26-27 | 471 | 943 | 1885 | 2092 | 2620 |

Of een bouwplan kan worden gerealiseerd is niet alleen afhankelijk van de positiefout maar ook op welke locatie en op welke hoogte deze fout optreedt. Om die reden zal er na een toetsing altijd een beoordeling moeten volgen door de organisatie verantwoordelijk voor de controle van het luchtruim. Dit in Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) voor het gebied rond de burgervliegvelden en Defensie voor het overige luchtruim.

5 Rekenmethode gevechtsleidingsradars

5.1 Drie dimensionaire (3D) radars

Tot nu toe is alleen de rekenmethode besproken voor de verkeersleidingsradars. In Nederland staan echter ook twee gevechtsleidingsradars, zie figuur 56.

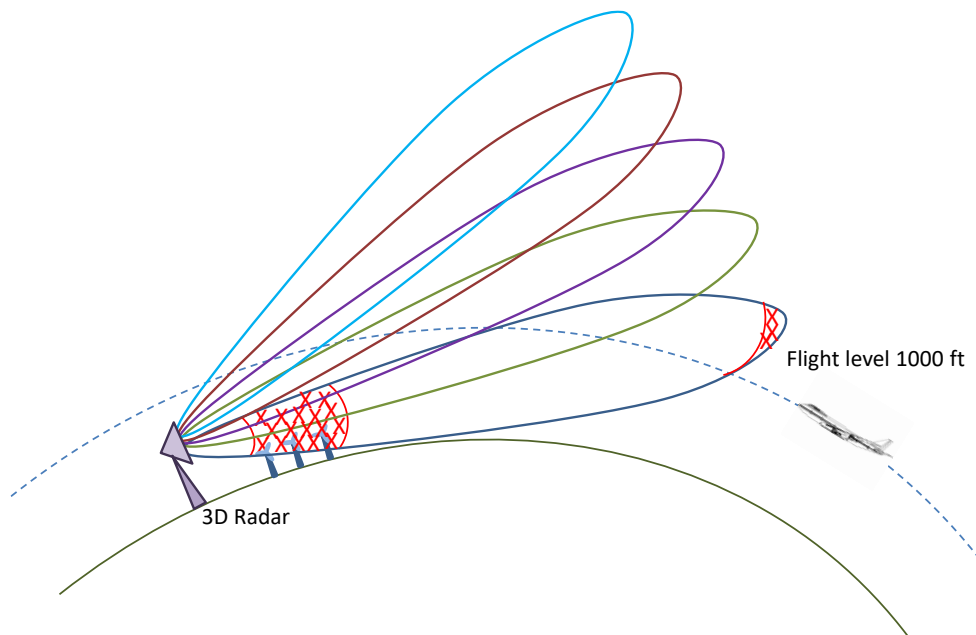


Figuur 56: De MPR gevechtsleidingsradar bij Wier. Rechts de radarantenne in de radome (Bron: Ministerie van Defensie).

In tegenstelling tot het primaire verkeersleidingsradarnetwerk, worden de gevechtsleidingsradars afzonderlijk getoetst. Er wordt dus niet uitgegaan van de mogelijkheid tot onderlinge ondersteuning. Aangezien de gevechtsleidingsradars kleinere doelen moeten kunnen detecteren, geldt voor deze primaire radars een afwijkende radardoorsnede en Swerling case.² 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 drie dimensionaire (3D) radars genoemd.

De hoogte van een doel wordt bij de 3D radars 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 57. 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 inferentie van windturbines dan een 2D radar.

² Deze gegevens en de daaruit volgende radardetectiekansdiagrammen zijn gerubriceerd en mogen door TNO niet worden vrijgegeven zonder toestemming van het Ministerie van Defensie.



Figuur 57: 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 bij Wier en Nieuw Milligen worden vervangen door de SMART-L EWC-GB radar, waarbij de radarlocatie Nieuw Milligen wordt verplaatst naar Herwijnen en is daarom per 1 juli van 2016 in de Rarro opgenomen. De radar bij Wier is ondertussen vervangen, zie figuur 57. Om de geluidsproductie van de radar te verminderen is begin 2024 een rodome over de radar heen geplaatst, zie maar voor de radar bij Herwijnen dient nog een bouwvergunning te worden verkregen. 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.



Figuur 58: De plaatsing van de nieuwe SMART-L EWC GB radar naast de bestaande MPR in Wier [Bron: Defensie].



Figuur 59: De plaatsing van de radome over de nieuwe SMART-L EWC GB radar in Wier [Bron: Thales].

Aangezien er nog geen volledige zekerheid is over de plaatsing van de gevechtsleidingsradar op de beoogde locatie Herwijnen, is in 2019 een onderzoek uitgevoerd naar alternatieve locaties. Daar zijn drie locaties uitgekomen, te weten Goudriaan, Meerkerk en Nieuwpoort. In geval een bouwplan binnen het toetsingsgebied, zie figuur 12, valt van Herwijnen, wordt door Defensie alleen een positief advies afgegeven aan het bevoegd gezag als het bouwplan ook voor deze drie alternatieve locaties geen overschrijding van de norm vertoont.

6 Modelling windturbines

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 5.

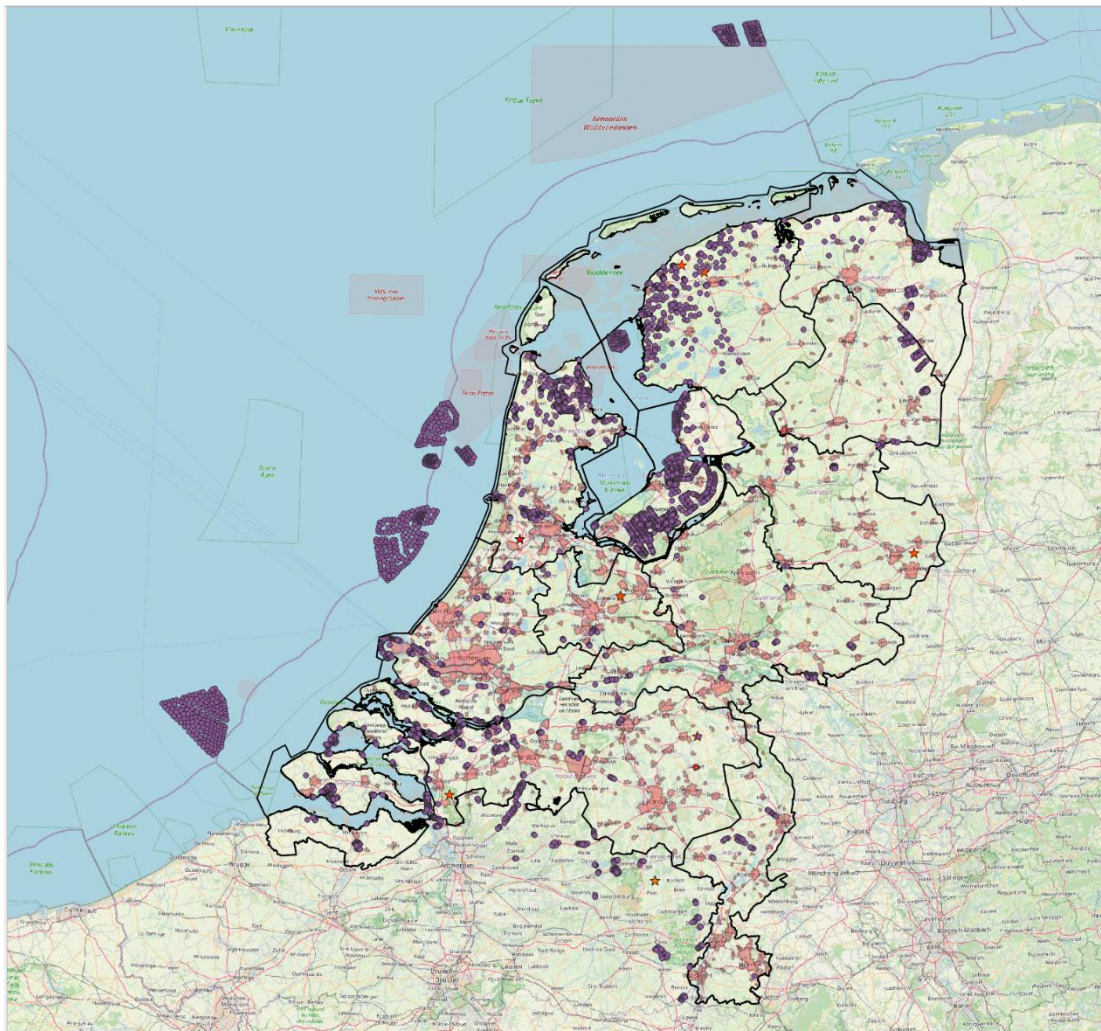
Tabel 5: Een overzicht van de afmetingen van de windturbine zoals deze wordt toegepast in PERSEUS

| Onderdeel | Afmeting [m] |
|---------------------|--------------|
| Ashoogte | —.- |
| Tiphoogte* | —.- |
| Fundatieverhoging | —.- |
| Breedte gondel | —.- |
| Lengte gondel | —.- |
| Hoogte gondel | —.- |
| Diameter mast onder | —.- |
| Diameter mast boven | —.- |
| Lengte mast | —.- |
| Lengte wiek | —.- |
| Breedte wiek | —.- |

* Afgeleid van ashoogte en wieklengte

PERSEUS houdt ook rekening met de reeds in Nederland geplaatste en definitief geplande 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. Dit bestand is aangevuld met de windturbines in België, gelegen tussen de radar bij Kleine Brogel en de Nederlandse grens. 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 60 worden de locaties van alle turbines (situatie 1 januari 2020) uit dit bestand getoond.



Figuur 60: Het Baseline windturbinebestand van 1 januari 2024 bestaande of definitief geplande windturbines verspreid over Nederland op land en op zee (Bron: www.windstats.nl), aangevuld met de windturbines in België, gelegen tussen de radar bij Kleine Brogel en de Nederlandse grens.

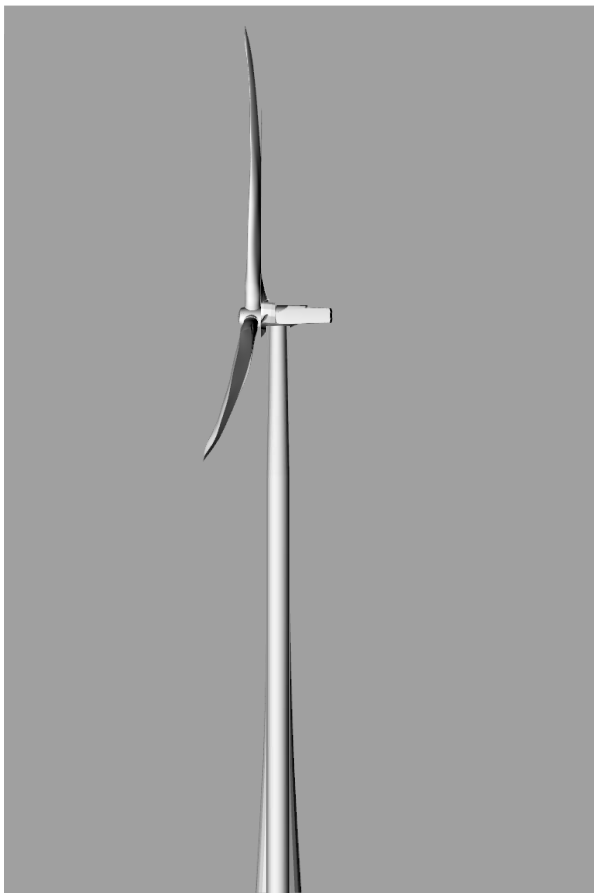
6.2 TNO *worst-case* turbine

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.

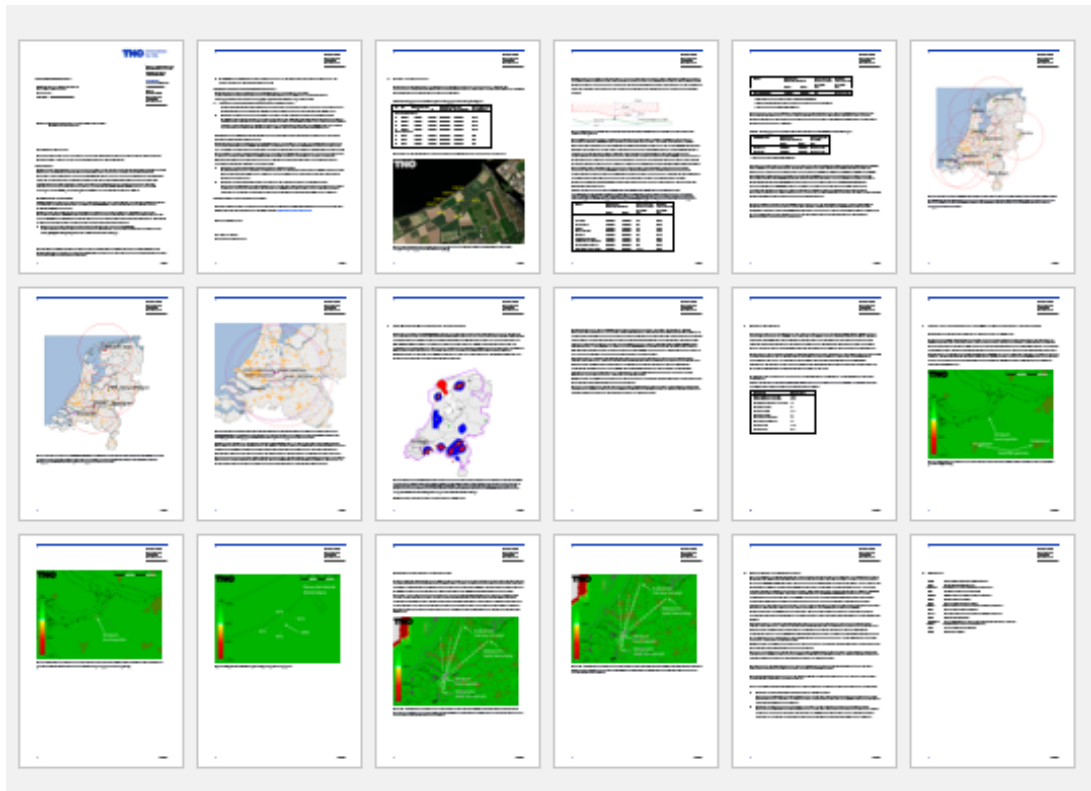


Figuur 61: Een visualisatie van een worst-case turbine, samengesteld uit diverse type windturbines.

7 Rapportages

7.1 Introductie

Militaire radarstations zorgen voor de beveiliging van het nationale luchtruim. Ze zorgen ook voor de veilige afhandeling van het militaire verkeer en het burgerluchtverkeer. Hoge bouwwerken en windturbines in gebieden rond een radarstation kunnen het radarbeeld verstoren. De gemeente kan daarom in het omgevingsplan geen bouwwerken en windturbines toelaten, die de maximaal toegelaten hoogte overschrijden. Dit volgt uit artikel 5.155 van het Bkl. Een radarhindertoetsing is in dat geval een vereiste 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 Omgevingswet, Omgevingsbesluit, Besluit kwaliteit leefomgeving en Omgevingsregeling.



Figuur 62: Voorbeeld van een rapportage in briefvorm.

7.2 Uit te voeren handeling initiatiefnemer bij radarhinderonderzoek

TNO voert een onderzoek 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 van 90% detectiekans wel of niet overschreden wordt.

De initiatiefnemer beslist zelf welke stappen hij neemt. Bij voorkeur neemt de initiatiefnemer contact op met Rijksvastgoedbedrijf (RVB). RVB kan de initiatiefnemer informeren over de mogelijke vervolgstappen die hij zou kunnen nemen. RVB is per mail te bereiken via Postbus.RVB.Omgevingsmanagement@rijksoverheid.nl.

Aangezien de radardekkingsdiagrammen van de gevechtsleidingsradars gerubriceerd zijn, worden deze niet in de rapportage aan de opdrachtgever opgenomen. Deze diagrammen worden opgenomen in een separate rapportage die slechts met het Ministerie van Defensie wordt gedeeld. Het opsturen van deze rapportage naar defensie gebeurt echter pas na verzoek van de opdrachtgever. Hiervoor zijn geen extra kosten verbonden.

Ministerie van Defensie neemt kennis van de activiteiten in radarverstoringengebied(en) en beslist of deze verstoring wel of niet aanvaardbaar is. Men hanteert daarbij een detectiekans van 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. In de groengekleurde diagrammen wordt daaraan voldaan.

De formele beslissing wordt uiteindelijk opgesteld en ondertekend binnen het Ministerie van Defensie.

De initiatiefnemer kan in beginsel de formele beslissing van het Ministerie van Defensie via de gemeente of ander bevoegd gezag aanvragen via zaaksysteem Digitaal Stelsel Omgevingswet (ook bekend als: DSO). Het is ook mogelijk om de aanvraag in te dienen via contact.vergunningen@mindef.nl of per brief aan Ministerie van Defensie, t.a.v. Defensiestaf/Leefomgeving Postbus 20701 2500 ES Den Haag MPC 58B.

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 aan te leveren.

7.4 Kosten, doorlooptijden en voorwaarden

De maximale doorlooptijd van een standaard toetsing bedraagt drie weken. De kosten bedragen € 3500,-. Dit bedrag is per situatie, dus voor één combinatie van een aantal windturbine locaties, 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 gevechtsleidingsradars, dan moeten er twee toetsingen worden uitgevoerd. De kosten die in die situatie wordt berekend zijn € 5800,-. Indien voor een bouwplan in zuidoost Nederland de ASR-M radar van Kleine Brogel meegenomen moet worden in de berekeningen zijn de extra kosten daarvan €1100,-. 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 €600,- en €900,-. Alle hier genoemde prijzen zijn exclusief BTW en prijspeil 2024. De werkzaamheden worden uitgevoerd onder de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO', van 1 juli 2022, zoals gedeponneerd 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 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 63. 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 63: Voorbeeld van een PowerPoint presentatie met daarin de resultaten van een radarhinderonderzoek

8.2 Scheepsradars en VTS systemen

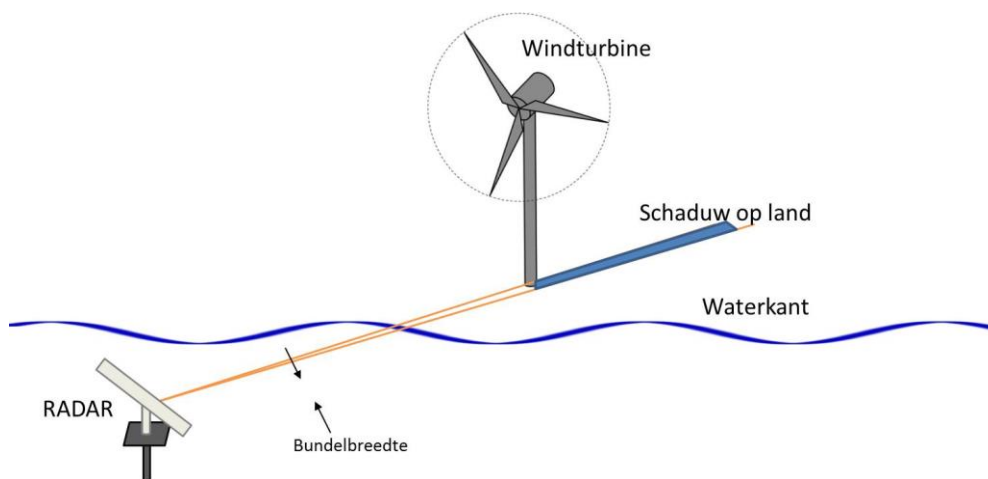
Naast de luchtverkeers- en gevechtsleidingsradars kunnen ook scheepsradars en de walradars van een Vessel Traffic Services (VTS) keten langs rivieren en langs de kust hinder ondervinden van windturbines. De hinder wordt daarbij niet veroorzaakt door de Doppler reflecties van de draaiende wieken, maar 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

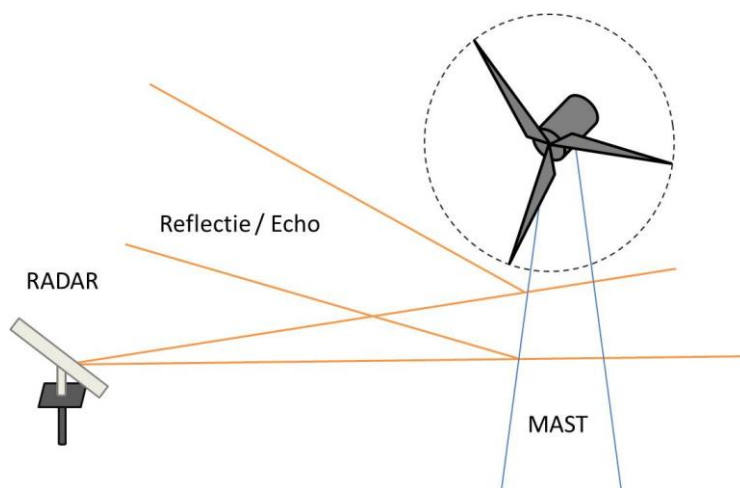
De radar kan niet door de mast heen kijken. Achter de mast ontstaat een gebied waar niets wordt waargenomen, het schaduwgebied. Dit effect treedt overigens ook op bij iedere andere vorm van bebouwing. Gezien vanuit de radar ligt deze schaduw doorgaans op het land, zie figuur 64.



Figuur 64: Schaduwwerking van de windturbine

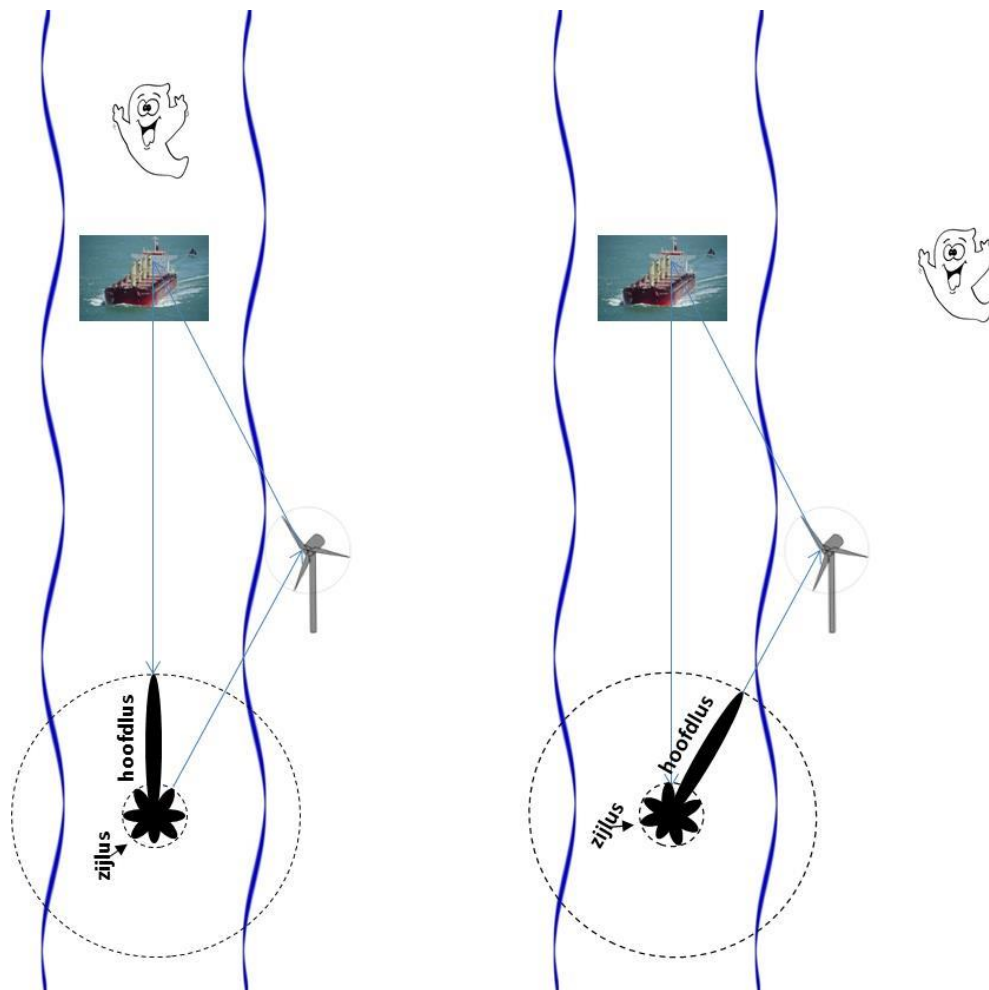
8.2.2 Schijn- of spookdoelen

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 zal zijn, zie ook figuur 65.



Figuur 65: 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 66: 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 66 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 66 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 eest 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

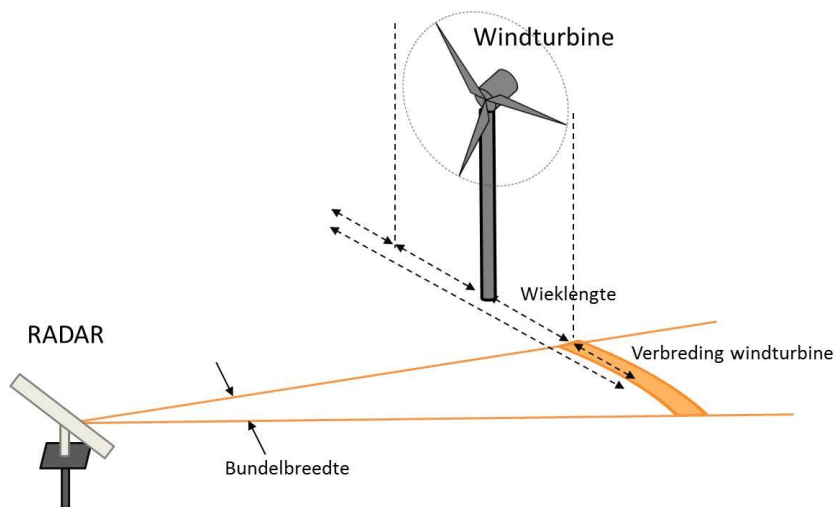
Het tweede effect wat een windturbines kan veroorzaken is de verstoring van het radarbeeld van scheepsradars ten gevolge van reflecties aan de rotors van de windturbine.

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 spiegeland oppervlak. De intensiteit van deze blade flash kan een orde grootte hebben van 10.000 m².

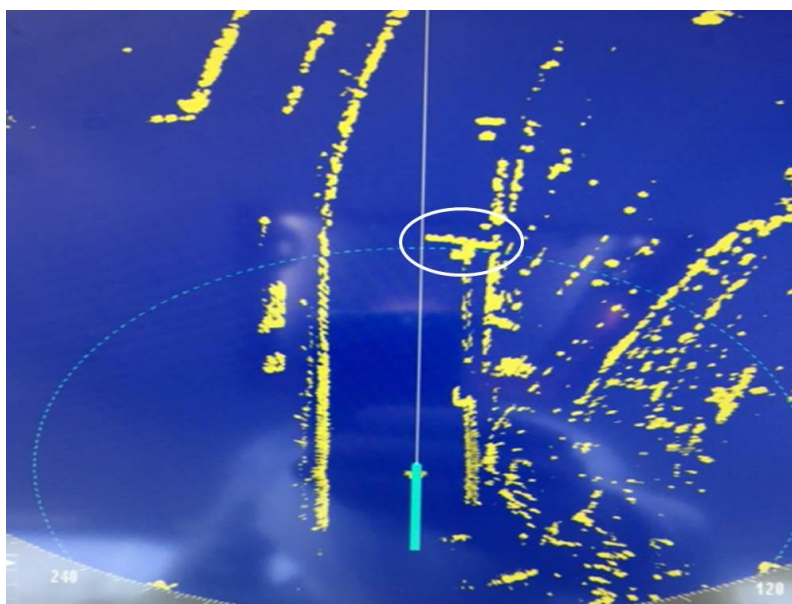
De bundelbreedte van de radar antenne bepaalt wat het onderscheidend vermogen van een radar in de dwarsrichting is. Als twee objecten meer dan deze bundelbreedte uit elkaar staan dan zijn deze objecten afzonderlijk van elkaar waar te nemen.

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 67. 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 67: Illustratie van doelverbreiding vanwege reflecties op de wijk van een windturbine.

Een voorbeeld hoe de reflecties van een wijk zich op een radarbeeld kunnen manifesteren als een reflectie boven het vaarwater is gegeven in figuur 68.



Figuur 68: Verbreiding 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 verbreiding 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 Handige links en adressen

PERSEUS pagina op TNO site:

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

Vragen over procedure of indienen aanvraag door bevoegd gezag:

contact.vergunningen@mindef.nl

Contactadres ILT voor vragen over obstakels:

obstakels@ilent.nl

Contactadres voor toetsing LVNL:

cnstoetsing@lvnl.nl

Relevante artikelen in de Omgevingswet:

De verantwoordelijkheden van het Ministerie van Defensie zijn terug te vinden in artikel 4.28. (advies en instemming door Minister van Defensie):

<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041278&hoofdstuk=4&afdeling=4.2&artikel=4.28&z=2024-01-01&g=2024-01-01>.

De 15 en 75 km radarverstoringsgebieden voor de primaire militaire en civiele primaire verkeersleidingsradars staan vermeld in artikel 5.150, vijfde lid. (aanwijzing militaire terreinen en terreinen met een militair object):

<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&hoofdstuk=5&afdeling=5.1¶graaf=5.1.7&sub-paragraaf=5.1.7.2&artikel=5.150&z=2024-01-01&g=2024-01-01>);

en artikel 5.155, eerste lid (geen belemmeringen voor militair radarbeeld):

<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&hoofdstuk=5&afdeling=5.1¶graaf=5.1.7&sub-paragraaf=5.1.7.2&artikel=5.155&z=2024-01-01&g=2024-01-01>);

De daarbij behorende bijlage met een opsomming van de radarlocaties en de hoogtes van de normprofielen zijn opgenomen in Bijlage XIV onder E:

<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0041313&bijlage=XIV&z=2024-01-01&g=2024-01-01>).

RVO site wind op land:

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

RVO Site radartoetsingsvlakken en bouwhoogtebeperkingen:

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/milieu-en-omgeving/bouwhoogtebeperkingen>

Of direct naar de viewer:

<https://ez.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8eaadfac232049849ad9841d35cd7451>

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/>

Overzicht windturbines in Nederland:

<https://windstats.nl/>

Viewer actueel hoogtebestand Nederland:

<https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>

Referenties

[1]

Defence, Safety & Security

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
www.tno.nl

TNO innovation
for life