



**Vlaanderen**  
is wetenschap

# Onderzoeksprogramma 2021-2025 voor het uitvoeren van radaronderzoek naar de effecten van windturbines op vogels en vleermuizen

## Resultaten van het verkennend onderzoek in 2021

Joris Everaert, Els Lommelen, Raïsa Carmen, Jo Loos, Marc Van De Walle, Hilbran Verstraete

INSTITUUT  
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

**Auteurs:**

Joris Everaert, Els Lommelen, Raisa Carmen, Jo Loos, Marc Van De Walle, Hilbran Verstraete  
*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

**Reviewers:**

Eric Stienen (volledig rapport), Marc Pollet (samenvatting)

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

**Vestiging:**

Herman Teirlinckgebouw  
INBO Brussel  
Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel  
[vlaanderen.be/inbo](https://vlaanderen.be/inbo)

**e-mail:**

[joris.everaert@inbo.be](mailto:joris.everaert@inbo.be)

**Wijze van citeren:**

Everaert J., Lommelen E., Carmen R., Loos J., Van De Walle M., Verstraete H. (2022).  
Onderzoeksprogramma 2021-2025 voor het uitvoeren van radaronderzoek naar de effecten van  
windturbines op vogels en vleermuizen. Resultaten van het verkennend onderzoek in 2021.  
Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (12). Instituut voor Natuur-  
en Bosonderzoek, Brussel.  
DOI: [doi.org/10.21436/inbor.73800966](https://doi.org/10.21436/inbor.73800966)

**D/2022/3241/169**

**Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (12)**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Maurice Hoffmann

**Foto cover:**

Antwerpse haven (foto Joris Everaert)



ONDERZOEKSPROGRAMMA 2021-2025 VOOR  
HET UITVOEREN VAN RADARONDERZOEK NAAR  
DE EFFECTEN VAN WINDTURBINES OP VOGELS  
EN VLEERMUIZEN

**Resultaten van het verkennend onderzoek in 2021**

Joris Everaert, Els Lommelen, Raïsa Carmen, Jo Loos, Marc Van De Walle,  
Hilbran Verstraete

[doi.org/10.21436/inbor.73800966](https://doi.org/10.21436/inbor.73800966)

## Dankwoord/Voorwoord

Het verkennend onderzoek is uitgevoerd in het kader van de samenwerkingsovereenkomst “Onderzoeksprogramma 2021-2025 voor het uitvoeren van radaronderzoek naar de effecten van windturbines op vogels en vleermuizen, versie 12 januari 2021” en de “jaarovereenkomst radarproject 2021, versie 18 januari 2021” tussen de Vlaamse Ecologie Energie Milieu Onderneming (VLEEMO NV) en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).



## Samenvatting

In en rond de Antwerpse haven liggen verschillende vooral waterrijke (natuur)gebieden waar veel vogels kunnen verblijven en/of doortrekken. Bij de aanvraag voor geplande windturbines werden in het verleden knelpunten gesignaleerd: we wisten te weinig van de vliegbewegingen van vogels en zo ook over de mogelijke impact op vogelpopulaties bij een verdere uitbreiding van windenergie-infrastructuur in het havengebied. De Vlaamse Ecologie Energie Milieu Onderneming (VLEEMO NV) is mee verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de windturbines, en wil de knelpunten rond de verdere ontwikkeling van windturbines in het havengebied zoveel mogelijk wegwerken. Met innovatief radaronderzoek wil VLEEMO een beter beeld krijgen van de mogelijke effecten van bestaande en nog geplande windturbines in het gebied op vogels en vleermuizen.

In 2021 startten we samen met VLEEMO een langlopend monitoringproject van 5-10 jaar met een 3D-vogelradar. We willen vooral aan de hand van onderzoek informatie en inzichten krijgen over hoe we de impact van windturbines kunnen minimaliseren voor vogels en vleermuizen. In het onderzoekjaar 2021 streefden we globaal gezien naar een eerste validatie van de detectiecapaciteit van de radar voor vogels in verschillende zones binnen een aandachtsgebied op de Rechterscheldeoever in de Antwerpse haven, en een eerste verkenning van de radardata en van mogelijke methoden voor gerichte data-analyses.

De gebruikte radar (ROBIN 3D Max) geeft 3D-informatie van vogelbewegingen, afhankelijk van de vogelgrootte tot op meerdere kilometers afstand. De gedetecteerde vliegroutes (vogeltracks) komen in een database, samen met een automatische classificatie van de grootte van het detecteerde object. Dat kan gaan over insecten, kleine, middelgrote en grote vogels, tot groepen van vogels. Deze classificatie zal niet altijd volledig juist zijn, en er is uiteraard ook geen automatische inschatting van de specifieke soort. De radar werkt 24/7, wat in 2021 al resulteerde in miljoenen vogeltracks.

Er zijn veel uitdagingen bij het verwerken van de grote radardataset met vogeltracks in een ruimtelijk complexe omgeving. Industriële constructies zoals gebouwen, silo's, opgestapelde containers, bewegende kranen en roterende wieken van windturbines, maar ook groepen bomen, kunnen interferentie met de radar veroorzaken. Dit geeft storende signalen (*clutter*), een deel valse vogeltracks en een verminderde detectiecapaciteit in bepaalde zones.

Om de datakwaliteit te testen en te verhogen voerden we in 2021 validatie-experimenten uit op verschillende locaties in het aandachtsgebied van 2021. De standplaats van de radar veranderde niet in 2021, namelijk de Ettenhovense polder ten oosten van het havengebied op de Rechterscheldeoever. Ornithologen valideerden de vliegbewegingen van vogels en vleermuizen te velde. Ze deden dat met verrekijker, telescoop, warmtebeeldkijker en gewone nachtkijker, en twee veld-tablets met 'real time' radarinformatie van (vogel)tracks.

De validaties in 2021 tonen dat het gebruikte radarsysteem mits een aantal aandachtspunten zelfs in dergelijk ruimtelijk moeilijke omgeving **bruikbare gegevens kan verzamelen over vliegbewegingen van vogels en de mogelijke effecten van windturbines**. De detectiecapaciteit van de radar kan, naast de afstand tot de radar, wel sterk afhankelijk zijn van lokale factoren zoals gebouwen, kranen, bomen, ... Het resultaat is dus ook afhankelijk van de locatie binnen het onderzoeksgebied. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij verder onderzoek en de conclusies die daaruit kunnen gemaakt worden. Globaal kunnen we concluderen dat de detectiecapaciteit voor vogels vanaf de standplaats van de radar in 2021



voldoende tot zeer goed was in het centraal tot zuidelijk deel van het aandachtsgebied, maar eerder matig tot onvoldoende in het meer noordelijk deel. In dat noordelijk deel is het hierdoor moeilijk om betrouwbare verdere analyses uit te voeren van vliegbewegingen. Het zou goed zijn om in 2022 nieuwe validaties te verrichten met een meer noordelijke standplaats van de radar. Ook eventuele andere mogelijke standplaatsen kunnen kortstondig getest worden. Een optimale standplaats van de radar is immers cruciaal om zijn capaciteit maximaal te kunnen benutten.

De **automatische vogelclassificatie van de radar blijkt een redelijk complex gegeven** te zijn. De voorlopige conclusies uit de eerste validaties wijzen erop dat de radar individuele vogels vaak één klasse te klein classificeert, in vergelijking met de vogelklassen die in het veld werden gebruikt voor de validaties. Individuele grote meeuwen (zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw) werden bijvoorbeeld door de radar in een meerderheid van de gevallen als 'middelgrote vogel' geclassificeerd, en individuele kleine vogels en vleermuizen vaak als 'insecten'. Het is aanbevolen om meer validaties te doen in samenwerking met andere gebruikers van het radarsysteem (op andere locaties). Op basis daarvan kunnen eventuele stappen gezet worden om de classificatie-algoritmes van het radarsysteem te optimaliseren.

Op basis van een diepgaande eerste verkenning van de data, incl. beschikbare parameters die het radarsysteem verzamelt, probeerden we in 2021 ook om al enkele mogelijke benaderingen te definiëren om valse vogeltracks zoals gebouwen en bewegende kranen in de toekomst zo goed mogelijk automatisch te verwijderen uit de database. Verder zijn ook uitdagingen gedefinieerd om de detectiecapaciteit en automatische classificatie in de toekomst verder te verbeteren.

Voorlopige monitoringresultaten van de radargegevens tonen al bepaalde patronen van zones waarbinnen mogelijk meer vliegbewegingen voorkomen dan daarbuiten, zowel voor lokale broedende/overwinterende vogels als vogels op seizoenstrek. Verdere monitoring en bijkomende validaties, en een meer gerichte analyse kunnen hierover meer duidelijkheid brengen de komende jaren, rekening houdend met bepaalde correcties en aannames.

We stelden een merkbaar uitwijkgedrag vast van vogels die op korte afstand, ongeveer 50-100 meter, van het rotoroppervlak van operationele windturbines passeren (micro- en/of meso-uitwijking), afhankelijk van de soortclassificatie en vlieghoogte. In de komende jaren is een meer gedetailleerde analyse gepland om het uitwijkgedrag en aanvaringsrisico te bepalen. We nemen daar ook meteorologische parameters mee, en gegevens van de werking en stand van de wieken van bestaande windturbines.

In de nazomer van 2021 detecteerde de radar ook foeragerende vleermuizen op relatief grote hoogte (ca. 50 meter en hoger) boven enkele natuurgebieden in het havengebied. Observaties in het veld valideerden dit. Dat biedt mogelijkheden om in de toekomst ook een meer gedetailleerd en gericht radardetectie-experiment met vleermuizen uit te voeren.



## English abstract

The Port of Antwerp is a large industrial area alongside the river Scheldt in Flanders (Belgium). Several nature reserves are located in and around the port. In the application for planned wind turbines, knowledge gaps were identified about the flight movements of birds and therefore also the possible impact on bird populations with the further expansion of wind energy infrastructure in the area. Therefore, in 2021 a 5-10 year monitoring project with a 3D bird radar was started by the Research Institute for Nature and Forest (INBO) in cooperation with the company VLEEMO, responsible for the wind farm development.

The basic objective of the collaboration consists of research activities that provide information and insights relevant for the construction of wind turbines with a minimal impact on birds and bats. Overall, the objectives for the research in 2021 consisted of a first validation of the radar's detection capacity for birds in different zones within a 2021 focus area, and a preliminary exploration of the radar data and possible methods for detailed data analysis.

ROBIN 3D Max, the radar used, provides full 3D information of bird movements in the nearby environment up to several kilometers away. Bird tracks are stored in a database, with an automatic classification of the size of the detected object (insects, small, medium and large birds or flocks of birds). This classification will not always be fully correct, and of course there is no automatic estimation of the specific species. The radar operates continuously (24/7), which already resulted in millions of bird tracks in 2021.

There are many challenges in the processing of the large dataset of bird tracks collected by the radar system. Industrial structures such as buildings, silos, piled up containers, moving cranes and rotating blades from wind turbines, but also groups of trees, can cause interference with the radar, resulting in clutter and some false bird tracks and/or a reduced detection capacity.

In this respect, to test and improve the data quality, ornithologists performed visual validation experiments at several vantage points in the area, at different distances from the radar. The validation was done with the use of binoculars, a spotting scope, thermal imaging binoculars, night vision goggles and field tablets with real time radar bird track information.

The results of the validations in 2021 revealed that the radar system can collect useful data on bird flight movements and the possible effects of wind turbines, even in this spatially challenging environment. However, the detection capacity of the radar can, in addition to the distance from the radar, strongly depend on local factors (buildings, cranes, trees, ..) and the result is therefore also dependent on the location within the focus area. This should be taken into account in the further course of this project and the conclusions that can be drawn from it. Overall, we can conclude that the detection capacity for birds from the radar location in 2021 was sufficient to very good in the central to southern part of the focus area, but rather moderate to insufficient in the more northern part. This makes it difficult to perform reliable further analyses of flight movements in the northern part. It is therefore recommended to carry out new validations in 2022 with a more northerly position of the radar, but also to test other possible positions. After all, an optimal location for the radar is the most important aspect for enabling such a bird radar to use its capabilities to the maximum.

The radar's automatic bird classification appears to be a fairly complex matter. The preliminary conclusions from the first validations indicate that the radar often classifies individual birds one class too small, at least compared to the bird classes used in the field validations. For example, individual large gulls (Herring Gull, Lesser Black-backed Gull) were classified by the radar in a majority of cases as 'medium bird', and individual small birds and bats often as 'insects'. It is recommended to collect more data in collaboration with other users of the radar

system (at other locations), in order to take possible steps to optimize the classification algorithms of the radar system.

Based on an in-depth preliminary exploration of the data, including available parameters collected by the radar system, an attempt was made to define some approaches in order to optimize the automatic data-cleaning of false bird tracks (e.g. of buildings and moving cranes) in the future. Furthermore, some challenges have been defined to further improve the detection capacity and automatic bird classification in the future.

Preliminary monitoring results already show some areas in which more bird flight movements seem to occur than elsewhere, both for local birds (breeding/wintering) and birds on seasonal migration. Further monitoring (incl. additional validations) and a more targeted analysis approach can provide a better knowledge in the coming years, taking into account certain corrections and assumptions.

The preliminary results already indicate noticeable micro- and/or meso-avoidance behavior of birds thereby passing the rotor surface of operational wind turbines at short distances (50-100 meters), depending on species classification and flight height. A more detailed analysis to determine avoidance behavior and collision risk is planned in the coming years, including the use of meteorological parameters and data from the operation and position of the wind turbine blades.

In the late summer of 2021, foraging bats at relatively high altitudes (> 50 meters) above some nature areas within the focus area, were also detected by the radar and verified by observation in the field. This offers opportunities to conduct a more detailed and targeted radar detection experiment with bats in the future.

## Inhoudstafel

Dankwoord/Voorwoord.....	2
Samenvatting .....	3
English abstract.....	5
1 Inleiding .....	8
2 Doelstellingen .....	10
3 Beschrijving van het radarsysteem.....	12
4 Opstart van stabiele database voor analyse .....	13
5 Validaties met visuele waarnemingen.....	15
5.1 Materiaal en methoden .....	15
5.1.1 Methoden van de validatiesessies.....	16
5.1.1.1 Volledige validatiesessies .....	19
5.1.1.2 Speciale validatiesessies hoofdzakelijk gericht op soortbepaling .....	21
5.2 Resultaten validaties .....	22
5.2.1 Detectiecapaciteit van de radar voor vogels en vleermuizen.....	23
5.2.2 Correctheid van automatische classificatie van vogels en vleermuizen.....	45
5.2.3 Foutieve vogelclassificatie van niet-vogels.....	49
6 Verkenning van de data en mogelijke methoden voor datacleaning en analyse.....	52
6.1 Materiaal en methoden .....	52
6.2 Resultaten .....	52
6.2.1 Overzicht van de verkende data .....	52
6.2.2 Welke gegevens kunnen interessant zijn om vogels beter te onderscheiden?.....	54
6.2.3 Voorbeeld van analysemethoden voor het effect van weersomstandigheden .....	65
7 Verkenning van 3D radartracks rond windturbines en hoogspanningslijnen .....	67
7.1 Methode voor visualisatie en analyse.....	67
7.2 Voorbeelden met verkennende analyse .....	69
7.3 Mogelijke methoden voor verdere analyse .....	77
8 Beperkingen in het radarzicht door verstoring van structuren dichtbij de radar .....	78
8.1 Beschrijving van het mogelijke probleem .....	78
9 Eerste 3D analyse van opvallende vliegbewegingen van vogels en vleermuizen .....	83
9.1 Methode voor visualisatie en analyse.....	83
9.2 Voorbeelden met verkennende analyse .....	83
9.2.1 Gevalideerde tracks van vogels en vleermuizen.....	83
9.2.2 Opvallende vliegbewegingen van vogels .....	93
10 Evaluatie radarlocatie en advies voor verder onderzoek.....	98
11 Verdere concrete doelstellingen en onderzoeksvragen .....	102
12 Referenties .....	105



# 1 INLEIDING

In januari 2021 werd een onderzoeksprogramma 2021-2025 (verlengbaar tot en met 2030) opgemaakt in het kader van de samenwerkingsovereenkomst tussen de Vlaamse Ecologie Energie Milieu Onderneming nv (VLEEMO) en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

In en rond de Antwerpse haven (rechter- en linkerscheldeoever, incl. Waaslandhaven), hierna het “havengebied” genoemd, liggen verschillende Vlaams en Europees beschermde natuurgebieden. Bij de vergunningsaanvragen voor geplande windturbines in het havengebied, werden voor de effectbeoordeling enkele knelpunten geïdentificeerd met betrekking tot de kennisleemten over de effecten op vogels. Ook over de cumulatieve effecten en de geschatte versus werkelijke effecten op vogels en vleermuizen zijn er hiaten in de kennis. Door dit alles is de onzekerheid m.b.t. mogelijk negatieve effecten soms vrij groot, waardoor het vergunningsproces niet overal gemakkelijk verloopt. Dergelijke knelpunten zijn overigens op veel locaties in Vlaanderen aanwezig.

Het ligt binnen de verwachting dat onderzoek met een 3D vogelradar zeer effectief kan zijn om de kennishiaten weg te werken. Met zo’n radar kunnen de vliegbewegingen van vogels en sommige vleermuizen op een objectieve manier nauwkeurig in kaart gebracht worden.

Sinds 2012 werd door INBO (Everaert, 2012) en specifiek voor het havengebied ook door VLEEMO getracht om dergelijk radaronderzoek op te starten in Vlaanderen. Het beste toen beschikbare radarsysteem bleek het semi 3D radarsysteem ‘3D flex’ van ROBIN Radar Systems, een systeem dat werkt met een combinatie van aangepaste scheepsradars die zowel in het horizontaal als verticaal vlak scannen met 3D informatie in de overlap. De S-band frequentie van de horizontale radar bleek echter een probleem te zijn voor de Belgische Defensie. Midden 2016 werd uiteindelijk definitief geconcludeerd dat een zendvergunning hierdoor onmogelijk was. Net daarvoor kon voor dergelijk ‘3D flex’ radarsysteem enkel nog een zeer tijdelijke test-zendvergunning bekomen worden voor het havengebied. In opdracht van VLEEMO werd hiermee in de periode 9-30 november 2015 door ROBIN Radar Systems ter hoogte van de Hooge Maey een meetcampagne uitgevoerd om de bruikbaarheid van een 3D vogelradar in een druk bebouwde havenomgeving te testen. Het INBO bood hierbij ondersteuning. Het onderzoek bestond vooral uit het bepalen van de dekkingsgraad en uit het valideren met visuele waarnemingen. De algemene conclusie van het onderzoek was dat dergelijk radarsysteem in het havengebied mits een aantal aandachtspunten een bijzondere meerwaarde biedt voor onderzoek naar vogelvliegbewegingen (Everaert *et al.*, 2016).

Eind 2017 bracht ROBIN Radar Systems op basis van jarenlang vooronderzoek en investeringen een volledig zelf ontwikkeld en echt ‘full 3D’ vogelradarsysteem op de markt, de ROBIN 3D Max (zie verder in hoofdstuk 3). Dit betreft het eerste radarsysteem ter wereld dat echt specifiek voor vogels en vleermuizen is ontwikkeld. De gebruikte frequentie van deze radar maakte een zendvergunning wel mogelijk.





Gezien de hoge kostprijs van de hieraan verbonden technologie staat dergelijke onderzoeksinfrastructuur niet ter beschikking van een groot aantal organisaties. In 2019 heeft VLEEMO het 'ROBIN 3D Max' radarsysteem aangekocht. Om de onderzoeksresultaten bekomen met dit radarsysteem op een adequate wijze in te kunnen zetten in het kader van de vergunningverlening voor windturbines, wenst VLEEMO een samenwerking op te zetten met het INBO om het onderzoek mee vorm te geven (zoals op 1 juli 2020 vastgelegd in de samenwerkingsovereenkomst), aan het onderzoek te participeren en daarover te publiceren. Dit kan via het onderzoeksprogramma met gemeenschappelijke doelstellingen (win-win).

De basisdoelstelling van het meerjarig onderzoeksprogramma bestaat uit onderzoeksactiviteiten die informatie en inzichten opleveren voor de inplanting van windturbines met een minimale impact op vogels en vleermuizen. Meer specifiek wenst VLEEMO met deze basisdoelstelling de knelpunten rond de verdere ontwikkeling van windturbines in het havengebied zoveel mogelijk weg te werken door met innovatief radaronderzoek een beter beeld te krijgen van de mogelijke effecten van bestaande en nog geplande windturbines in het gebied op vogels en vleermuizen. Het doel is bijgevolg om met de resultaten van het onderzoek goed onderbouwde uitspraken te doen over de gefaseerde bouw van nieuwe windturbines en eventuele te nemen milderende of compenserende maatregelen. Op die manier wordt een zo maximaal mogelijke realisatie van windenergieprojecten binnen het havengebied mogelijk met voldoende aandacht voor de bescherming van belangrijke natuurwaarden.



## 2 DOELSTELLINGEN

De algemene doelstellingen van het meerjarig onderzoeksprogramma zijn opgenomen in de samenwerkingsovereenkomst (zie ook hoofdstuk 1). De basisdoelstelling van het programma bestaat uit onderzoeksactiviteiten die informatie en inzichten opleveren voor de inplanting van windturbines met een minimale impact op vogels en vleermuizen. De doelstellingen voor het onderzoekjaar 2021 bestonden uit een eerste verkenning van de radardata van vliegbewegingen van vogels en mogelijke gerichte analyses in de komende jaren. Om de data in de toekomst op een efficiënte manier te analyseren, moest eerst een stabiele databaselocatie worden gemaakt van waaruit analyse gemakkelijk kan verlopen.

- Opstart van stabiele database voor detailanalyse in GIS en R.
- Validaties met visuele waarnemingen, vanaf verschillende waarnemingspunten in het noordelijk tot centraal havengebied op de rechterscheldeoever (figuur 1), met een evaluatie van de detectiecapaciteit van de radar, en evaluatie van de automatische soortgroep classificatie door de radar, en een algemene determinatie van soorten.

Hypothesen:

- Er is een goede detectiecapaciteit van vogels in (een deel van) het onderzoeksgebied.
- De automatische vogelclassificatie van de radar is voldoende betrouwbaar om verdere analyses mee te doen.
- Eerste meer diepgaande dataverkenning van de radartracks, o.m. de vraag of valse vogeltrack classificaties (niet-vogels) in de toekomst met automatische data-cleaning zoveel mogelijk kunnen geïdentificeerd worden om te verwijderen uit de database voor verdere analyse.
- Eerste dataverkenning van mogelijke methoden voor onderzoek naar de relatie van (vogel)tracks en weersomstandigheden.
- Eerste verkenning van radartracks rond windturbines en hoogspanningslijnen en mogelijke analysemethoden.
- Beperkingen in het radarzicht door verstoring van structuren dichtbij de radar.
- Eerste beschrijving van opvallende vliegbewegingen (lokale trek en seizoenstrek), inclusief 3D verkenning van vliegbewegingen en mogelijke analysemethoden.
- Evaluatie van de radarlocatie en advies voor verder onderzoek.

Aanvankelijk werd ervoor geopteerd om de radar in 2021 op te stellen op twee locaties die in/aan de rand van het te onderzoeken gebied gelegen zijn in een vrij open omgeving dichtbij de radar (figuur 1). Beide locaties bieden zo alvast op korte afstand een relatief vrij zicht op delen van de haven waar vogelbewegingen ons interesseren. Het havengebied zelf heeft echter veel potentieel storende structuren die het zicht beperken. Het was verder ook de bedoeling om de 'blanking' opties<sup>1</sup> van de radar te testen en te vergelijken met elkaar.

---

<sup>1</sup> Blanking: 1<sup>ste</sup> mogelijkheid is om straling volledig uit te zetten in max. 2 horizontale sectoren; 2<sup>de</sup> mogelijkheid is om waarnemingen in 3D volume te negeren (straling wordt uitgezonden en ontvangen, maar niet verwerkt en/of in database opgeslagen).

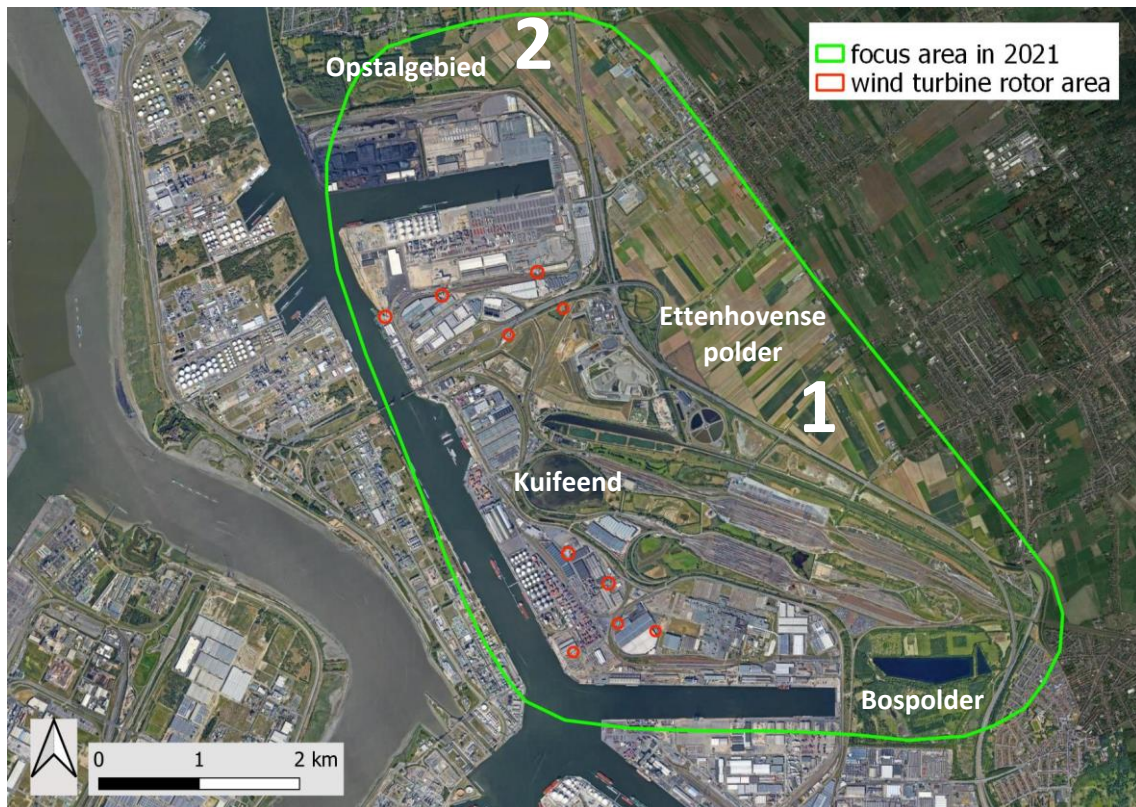


Uiteindelijk bleef de radar omwille van technische/organisatorische redenen in 2021 enkel operationeel vanaf de eerste standplaats.

Uitdagingen van het radarzicht vanaf die eerste locatie (nr. 1 in figuur 1) waren:

- 150kV HS lijn parallel aan A12 op ca. 1km (ZW)
- Nieuwe 380kV HS mast en lijn
- A12

Op deze locatie zou het mogelijk moeten zijn om vliegbewegingen van vogels tussen natuurgebied Kuifeend (en omliggende natuurgebieden Verlegde Schijn, Binnenweilanden, Binnenmoeras, Grote Kreek) met de Schelde en dokken enerzijds, en met de Ettenhovense polder anderzijds waar te nemen. Ook de vliegbewegingen ter hoogte van de Bospolder (en naastliggende Ekerse plas) moeten in beeld kunnen gebracht worden, en misschien ook vliegbewegingen van en naar het noordelijk gelegen Opstalgebied.

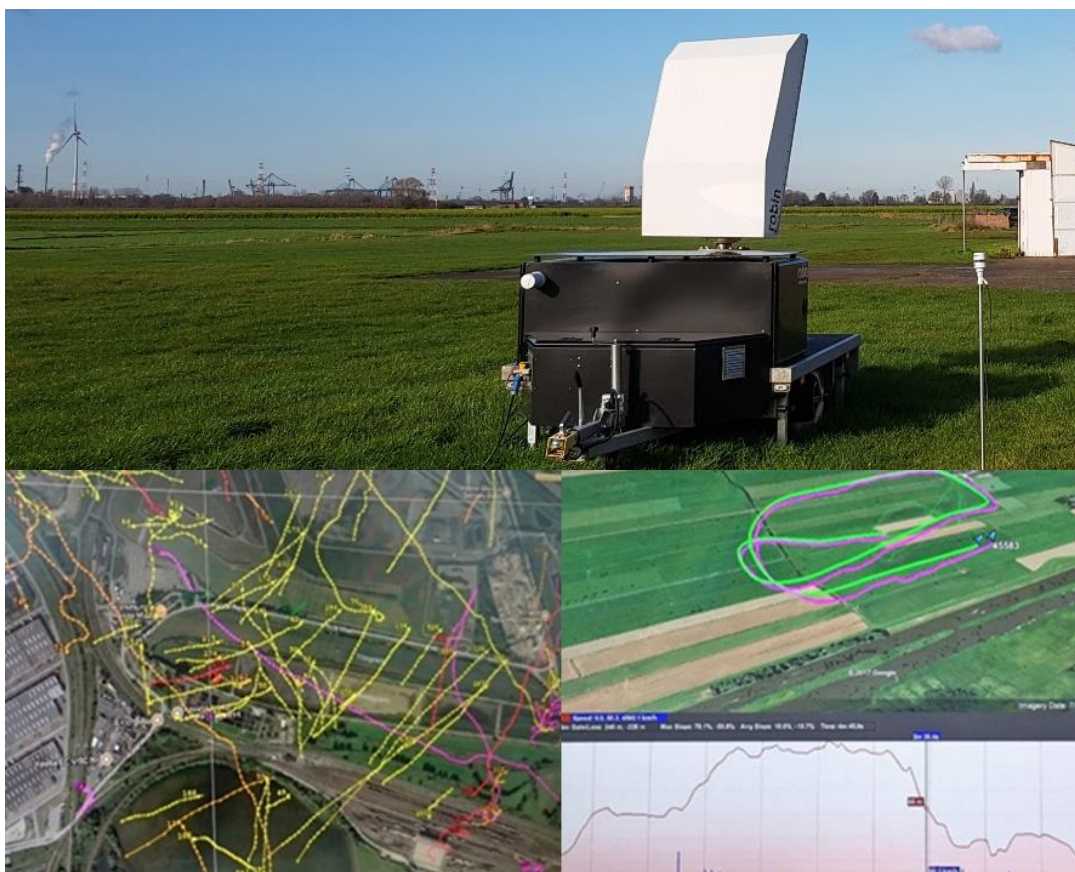


Figuur 1. Ruimtelijke weergave van het focusgebied, de rotoroppervlakken van de daarin aanwezige windturbines, en de twee aanvankelijk geplande radar standplaatsen (1 & 2) voor het onderzoek in 2021.

### 3 BESCHRIJVING VAN HET RADARSYSTEEM

Het ROBIN 3D Max radarsysteem (figuur 2) is een innovatief radarsysteem dat door ROBIN Radar Systems speciaal werd ontwikkeld om de vliegpatronen en -intensiteit van vogels en vleermuizen tot binnen een straal van ongeveer 15 km in hoge resolutie automatisch te onderscheiden. Het systeem kan op vaste locaties geïnstalleerd worden of mobiel ingezet. Het radarsysteem is gebaseerd op 'phased array' Frequency Modulated Continuous Wave antennetechnologie in de X-band frequentie tussen 9550 en 9750 MHz. De radar kan in 'real time' 3D informatie detecteren van vogels en vleermuizen in alle richtingen (360° full 3D). Enkel in een zeer kleine zone vlak boven de radar is er geen detectie (kleine 'cone of silence'). De vliegroute is weergegeven als 'track', bestaande uit verschillende punten (plots) waarop de radar een detectie had.

Zoals bij elk radarsysteem is de detectiecapaciteit uiteraard afhankelijk van storende objecten (gebouwen, bomen, ..) en de grootte van de vogels of vleermuizen. Een eend kan (in goede zichtcondities) tot op ca. 10 km afstand gedetecteerd worden, een kleine zangvogel tot ca. 6 km. Er is momenteel een automatische classificatie mogelijk van kleine, middelgrote en grote vogels, en groepen vogels (flocks). Een meer gedetailleerde classificatie is in ontwikkeling.



Figuur 2. ROBIN 3D Max radarsysteem ([www.robinradar.com](http://www.robinradar.com)) op de standplaats in de Ettenhovense polder in 2021 (boven) en een kaartbeeld van 3D vogeltracks (linksonder) en een kaartbeeld van 3D track van een test met een drone.





## 4 OPSTART VAN STABIELE DATABASE VOOR ANALYSE

Om in de toekomst de groter wordende PostgreSQL dataset van radartracks gemakkelijk te visualiseren in Geografische Informatiesystemen (GIS), o.a. met automatisch te updaten query's uit de PostgreSQL-beheertool pgAdmin, en op gestandaardiseerde automatische wijze vanuit de database bepaalde vraagstellingen/hypotheses o.a. ook via het programmeertaal softwarepakket 'R' complexe berekeningen te kunnen doen is een stabiele serverlocatie gewenst.

### Terminologie

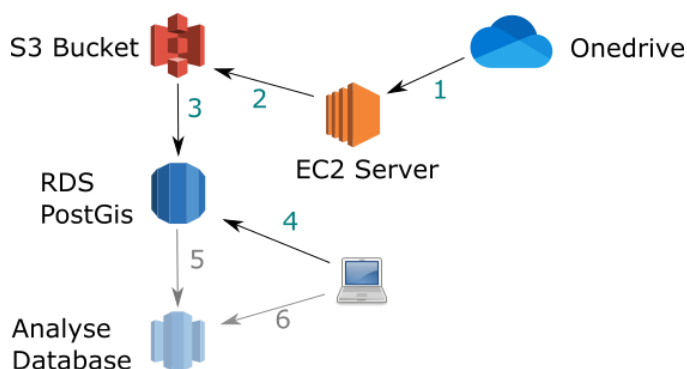
- OneDrive : cloud storage systeem van Microsoft, georganiseerd in klassieke bestand & folder hiërarchie.
- S3 Bucket : cloud storage systeem van AWS, georganiseerd als een object store.
- EC2 Server : server waar scripts kunnen uitgevoerd worden
- RDS Postgis : database as a service van AWS , plaats waar ruwe data kan bevraagd worden.
- Analyse Database : Preprocessing van ruwe data.

De radardata zijn in 2021 door Vleemo telkens per maand verzameld en voor download ter beschikking gesteld aan het INBO via een gedeelde locatie op OneDrive (= stap 1 hieronder).

### Werking

1. Download data van OneDrive (dit is momenteel manueel vanwege authenticatie)
2. Plaatsen van ruwe data in S3
3. Restore van data in S3 naar een PostGis database
4. Query van laptop naar rds
5. ETL preprocessing van data in een analyse database
6. Query van laptop naar rds

Het resultaat van de opgezette databaseomgeving is in onderstaand schema weergegeven.



Op langere termijn:

- data in de s3 bucket steken, zodat het niet op 2 plaatsen moet gestockeerd worden..
- opzetten van ETL die de pre-processing gemakkelijker maakt voor complexe berekeningen.

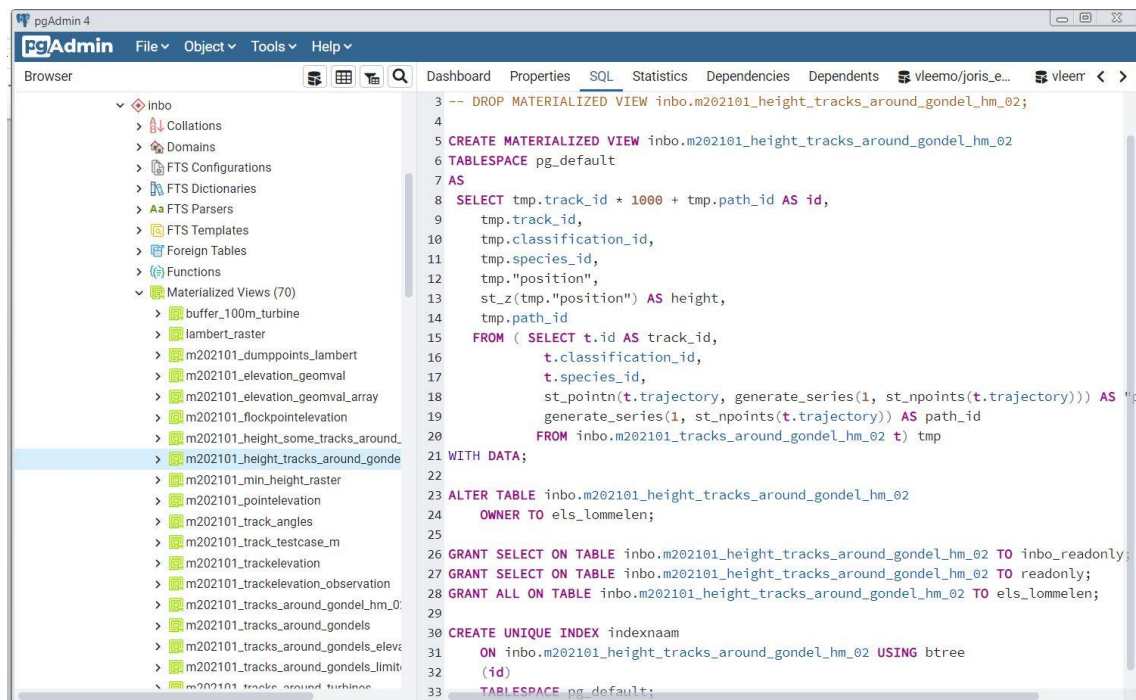
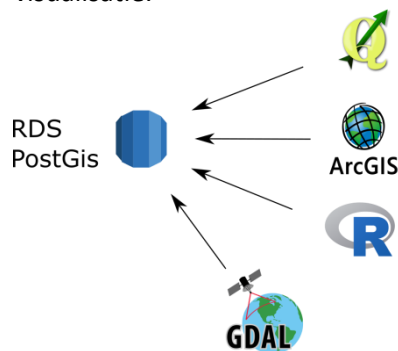
## Netwerk

Netwerktechnisch is de opzet met een jump host de makkelijkste en veiligste, zoals weergegeven in onderstaand schema.



## Gebruik

De data kunnen nu door verschillende tools gebruikt worden. Naast pgAdmin (zie figuur 3) om o.a. query's en verdere analyses te maken, ook GIS pakketten om selectiecriteria te bepalen en visualisatie.



Figuur 3. Voorbeeld van queryopdracht via pgAdmin.





## 5 VALIDATIES MET VISUELE WAARNEMINGEN

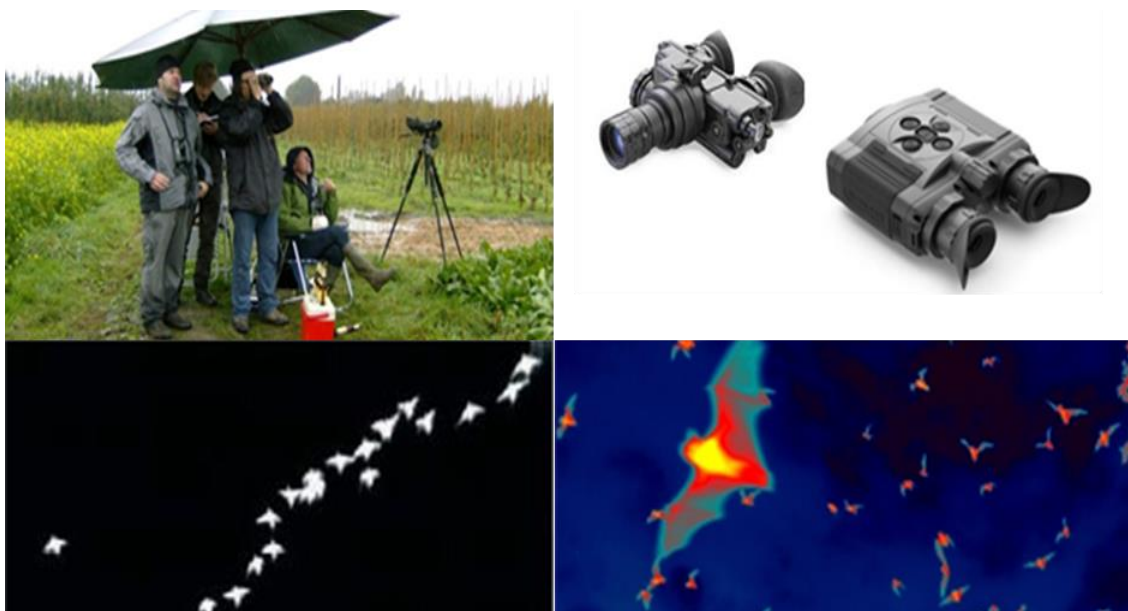
Het is aangewezen om als aanvulling op radarmetingen ook steeds een reeks visuele vogeltellingen te verrichten met minstens één teller in het veld. Dergelijke methodiek (combinatie van radar met visuele tellingen) past men in het buitenland ook doorgaans toe (Desholm *et al.* (2004), Scottish Natural Heritage (2009a), Krijgsveld *et al.* (2011), en zie ook Everaert (2012 & 2015)).

De visuele tellingen hebben als doel om de radarmetingen te valideren (zeker op nieuwe onderzoekslocaties) en er vooral ook belangrijke informatie aan toe te voegen. Specifiek willen we bijkomende gegevens verzamelen over de soortensamenstelling en gemiddelde groepsmaat van groepjes vogels die met de radar als één echo worden gedetecteerd. Verder kunnen visuele en batdetectormetingen informatie leveren over de aanwezigheid van vleermuizen en mogelijke effecten door windturbines.

### 5.1 MATERIAAL EN METHODEN

#### Materiaal

Tijdens de visuele tellingen werd gebruikt gemaakt van verrekijkers (eventueel een telescoop) en tijdens de duisternis ook steeds een warmtebeeldkijker met opnamefunctie en afstandsmeter (PULSAR Accolade XP50 thermal imaging binoculars) en eventueel een extra restlichtversterker-nachtkijker (generatie 3 ITT Night Enforcer 5000) (figuur 4). Het gebruik van een warmtebeeldkijker is een pluspunt om bijkomende informatie te verkrijgen over de soortensamenstelling en groepsmaat van nachtelijk overvliegende vogels zoals eenden en ganzen, maar ook vleermuizen. Met een restlichtversterker-nachtkijker kunnen overvliegende vogels en vleermuizen moeilijker op afstand onderscheiden worden.



Figuur 4. Visuele tellingen met verrekijker en telescoop (linksboven), nachtkijker en warmtebeeldkijker (rechtsboven). Onder links en rechts = verschillende visuele instellingen met een warmtebeeldcamera.

Verder werden twee veld-tablets gebruikt waarmee het ‘real time’ radarbeeld via de ‘Mobile-Viewer’ van ROBIN Radar Systems kon bekeken worden en waarbij extra informatie kon worden opgeslagen in de radardatabase (zie ook verder).

### 5.1.1 Methoden van de validatiesessies

De validatiesessies werden doorgaans uitgevoerd vanaf 7 vaste tellocaties verspreid in het onderzoeksgebied (telcirkels 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, zie figuur 5 en 6), zodoende uitspraken te kunnen doen over de detectiecapaciteit van de radar in deze verschillende zones, en correctheid van de automatische classificatie door de radar. Vanaf elk telpunt werd in een minimale buffer van 1 km gevalideerd. Voor grote vogels was dit tot binnen ca. 1,5 km. Bij een eerste verkenning werd ook in een telcirkel 4 getest maar deze werd uiteindelijk niet weerhouden. Deze telcirkel ontbreekt dus telkens in de weergave van de resultaten.

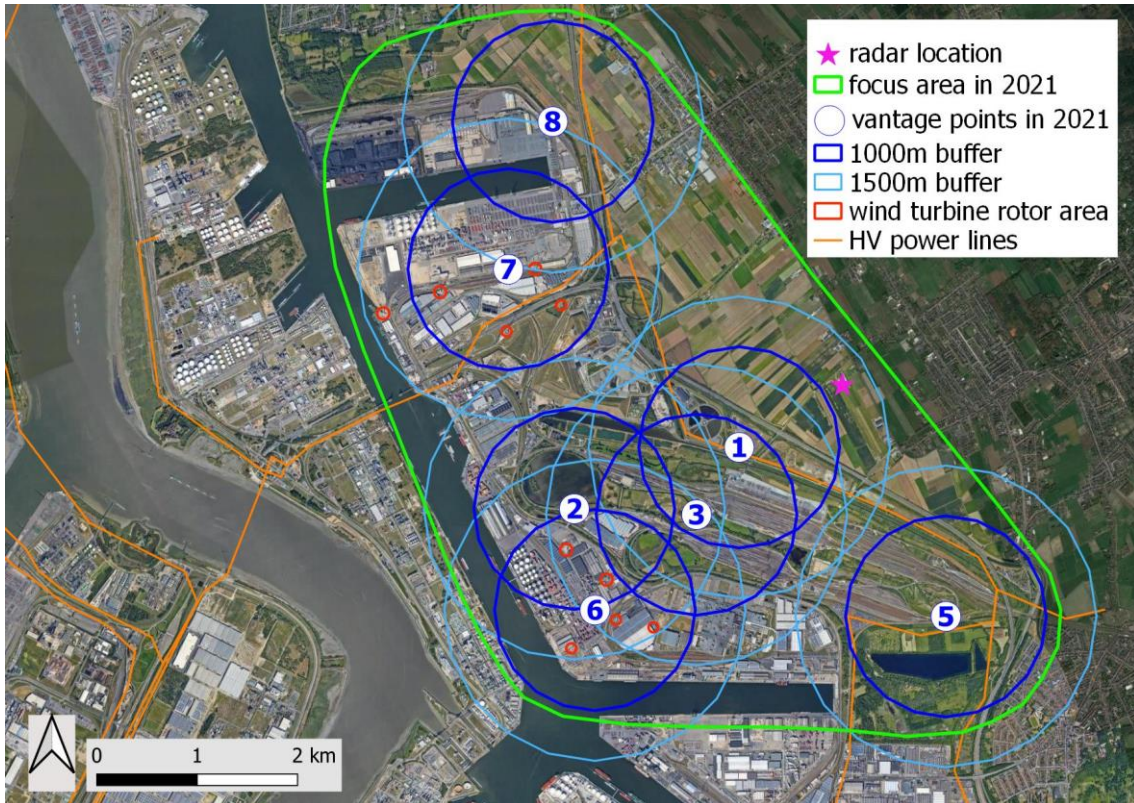
Het aantal uren visuele metingen is mede gebaseerd op informatie en aanbevelingen in Everaert (2015) en Scottish Natural Heritage (2009a,b & 2017), Krijgsveld *et al.* (2011), Plonczkier & Simms (2012), Prinsen (2019), Bouten *et al.* (2020), Kleyheeg-Hartman & Potiek (2020). Een minimaal aantal van 36u per halfjaar (bijvoorbeeld winterperiode) is aanbevolen.

Bij de uitgevoerde validatiemetingen (volledige sessies en enkel voor soortbepaling) komen we van begin februari tot eind november 2021 uit op ruim 111 teluren (tabel 1).

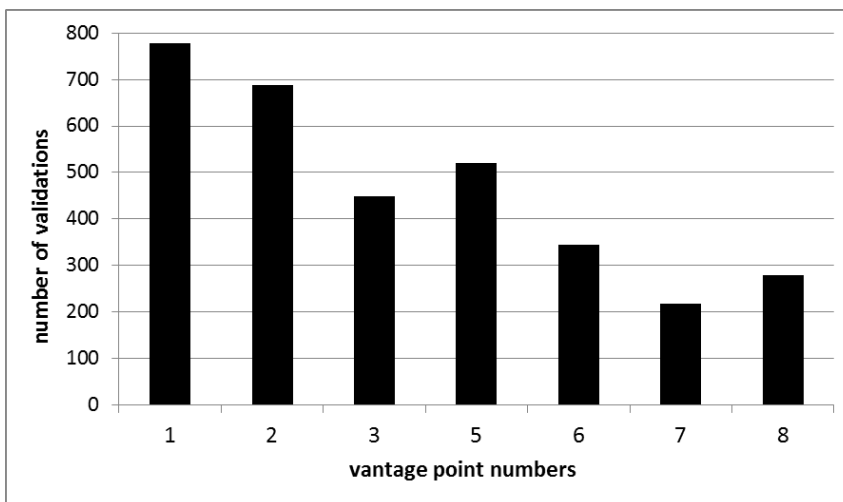
Tabel 1. Data van validatiesessies in 2021

<b>datum</b>	<b>periode van de dag</b>	<b>validatie sessie</b>
4/02/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 8u)	volledig
5/02/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)	volledig
22/02/2021	avond + eerste deel nacht (ruim 5u)	deels volledig
5/03/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 8u)	volledig
23/03/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)	volledig
27/04/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)	volledig
30/04/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)	volledig
27/05/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)	volledig
24/06/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)	volledig
28/07/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)	volledig
17/09/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)	volledig
24/09/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 6u)	volledig
16/10/2021	vroege ochtend tot middag (ruim 4u)	soortbepaling
24/11/2021	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 5u)	soortbepaling
25/11/2021	avond (ca. 1u)	regenbuien check
26/11/2021	avond (ca. 1u)	regenbuien check





Figuur 5. Focusgebied met weergave van de telpunten (vantage points) waar waarnemingen zijn verricht binnen telcirkels van min. 1 km. Voor grote vogels kon tot ca. 1,5 km worden gevalideerd (1000 en 1500m buffers op kaart). Voor de windturbines in het focusgebied is het rotoroppervlak (wind turbine rotor area) weergegeven. Ook de hoogspanningslijnen (HV power lines) zijn zichtbaar.



Figuur 6. Aantal uitgevoerde validaties van zekere vogels per telpunt (vantage point).

Met de ROBIN ‘mobile viewer’ toepassing op 2 veld-tablets, kunnen de door de radar gedetecteerde vogels als tracks in ‘real time’ worden gevolgd (zie verder ook in figuur 8 en 9). In deze toepassing kan de meest recente locatie van een track (bolletje) aangeklikt worden om extra informatie toe te voegen die meteen ook in de database opgeslagen wordt. Daarnaast kan door op specifieke plaats op de kaart te klikken, ook een zogenaamde ‘ground observations’ worden opgeslagen voor vogels die de radar niet ziet (geen tracks).



## Verwerking van de automatische classificaties van het radarsysteem

De radar geeft een automatische classificatie aan alle tracks, waaronder in geval van vogels 'Flock', 'Large bird', 'Medium bird' en 'Small bird', naast ook 'Insects' (tabel 2).

Tabel 2. Lijst van classificaties door het radarsysteem (vogelklassen in grijze arcering)

Aircraft
Fast Target
Slow Target
Vehicle
Flock
Large bird
Medium bird
Small bird
Insects
Unknown

Om de correctheid van de automatische classificatie van de echte vogels na te gaan, werd nadien in de database deze classificatie vergeleken met de informatie over soort(groep) en aantal die de waarnemer aan de radartrack toevoegde. Voor deze controle konden alle gevalideerde tracks worden gebruikt (v, r, en extra n en o sessies, zie verder). De toegepaste criteria hiervoor zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Criteria om de automatische classificatie van het radarsysteem te beoordelen.

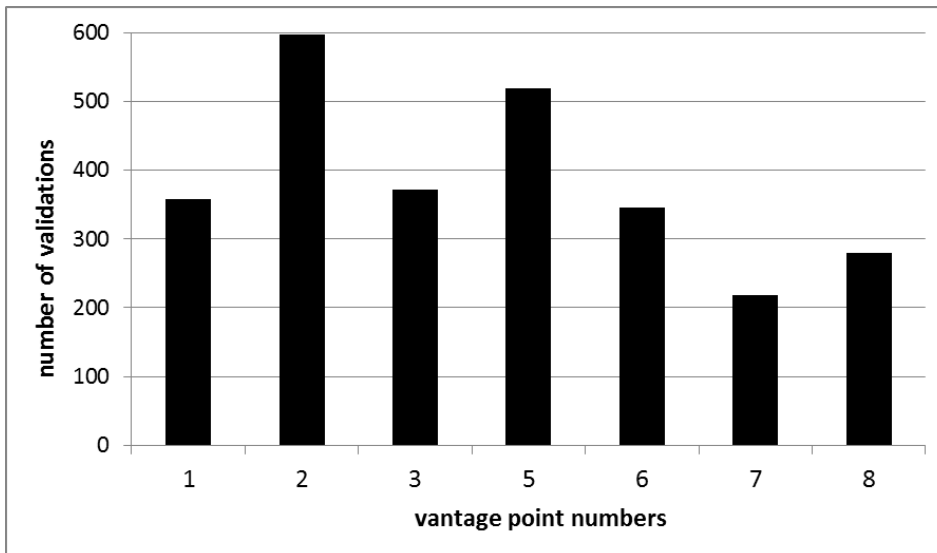
match	De visuele waarneming is gelijk met de radar classificatie. Voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar ook als 1 grote vogel werd geclassificeerd;</li> <li>• 1 vleermuis die door de radar geclassificeerd is als 1 kleine vogel.</li> </ul>
± match	De visuele waarneming wijkt nauwelijks af van de radar classificatie. Voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 vleermuis die door de radar geclassificeerd is als 1 kleine vogel;</li> <li>• 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar als middelgrote vogel werd geclassificeerd;</li> <li>• 2-4 vogels die door de radar als 1 vogel werden geclassificeerd;</li> <li>• 1 vleermuis die door de radar als een insect werd geclassificeerd (hier in meeste gevallen).</li> </ul>
no match	De visuele waarneming wijkt duidelijk af van de radar classificatie. Voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar als 1 kleine vogel werd geclassificeerd;</li> <li>• een groep van &gt;4 vogels die door de radar als 1 vogel werden geclassificeerd;</li> <li>• 2-4 vogels die door de radar als middelgrote vogel werden geclassificeerd.</li> <li>• als een vogel als 'aircraft', 'fast target', 'slow target', 'vehicle', of 'unknown' werd geclassificeerd.</li> </ul>



### 5.1.1.1 Volledige validatiesessies

De methode van de volledige validatiesessies is gebaseerd op deze van het verkennend onderzoek uit 2015 (Everaert *et al.*, 2016) waarbij door twee personen is gewerkt met verschillende zogenaamde ‘meetlijnen’ in het onderzoeksgebied. Vanaf een vast observatiepunt werd toen op een lijn naar één richting gekeken. De validatiewaarnemingen waren dan van de vogels die deze denkbeeldige meetlijn kruisten. Hierbij werden visuele waarnemingen vergeleken met radarresultaten en omgekeerd. Voor het onderzoek in 2021 werd eerst nagegaan of er naast – of in plaats van – de meetlijnen ook kan gewerkt worden met bredere meetzones (cirkels), om zodoende een beter beeld te krijgen van de detectiecapaciteit in een groter deel van het onderzoeksgebied. Op basis van eerste veldtesten werd snel gekozen voor dergelijke bredere telcirkels waarbij rondom de waarnemer in een cirkelzone werd waargenomen. In de meeste gevallen waren twee personen (één hoofdwaarnemer en één notulist) nodig voor deze validatiemetingen.

Het doel was om minstens 200 dergelijke volledige validaties (visueel vs. radar en omgekeerd) van echte vogels (dus excl. valse vogelclassificatie detecties van de radar) te verrichten per telcirkel (figuur 7).



Figuur 7. Alle validaties van zekere vogels vanaf de telpunten (vantage point) tijdens de volledige validatiesessies.

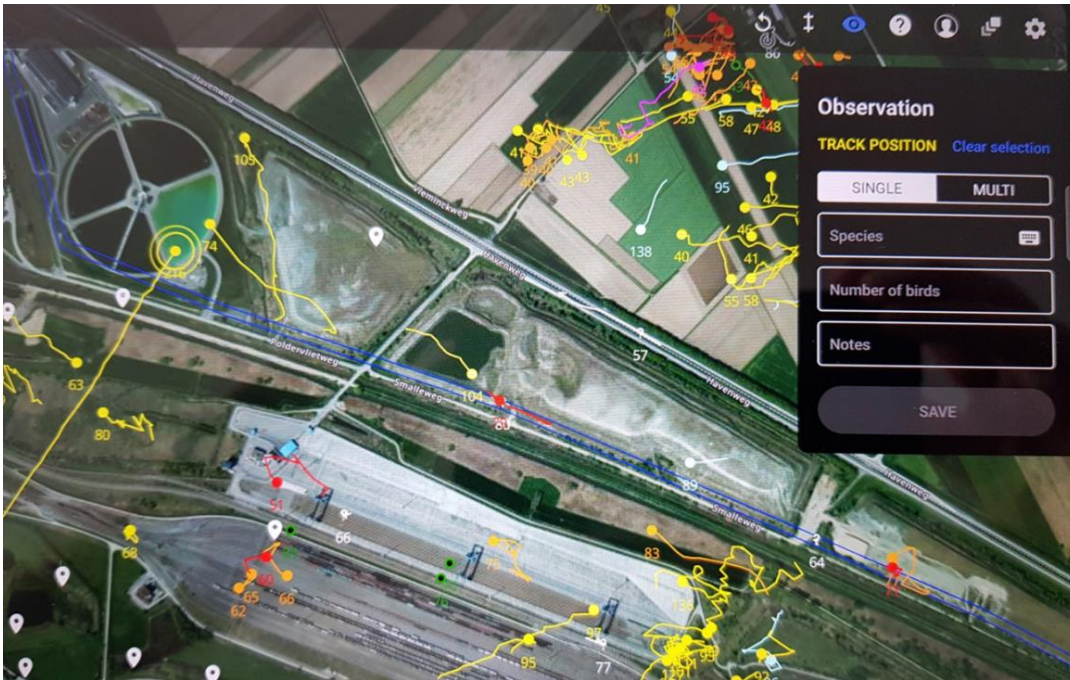
#### Visueel vs. Radar = v sessie

Hierbij wordt in hoofdzaak de detectiecapaciteit van de radar getest om vogels te kunnen zien, en bijkomend ook of de automatische classificatie van de door het radarsysteem gedetecteerde zekere vogels (voldoende) correct is. De waarnemer zoekt eerst visueel in het veld naar vogels binnen de telcirkel, waarna gekeken wordt of de radar deze ook detecteert.

- Bij detectie door de radar: selecteren van de betreffende radartrack en toevoegen info via ‘track position’ invoer (figuur 8): soort(groep), aantal, en extra info in ‘notes’ veld (code telcirkel, code sessie (hier = v)).







Figuur 8. Track position invoer via de observation module in de Mobile Viewer.

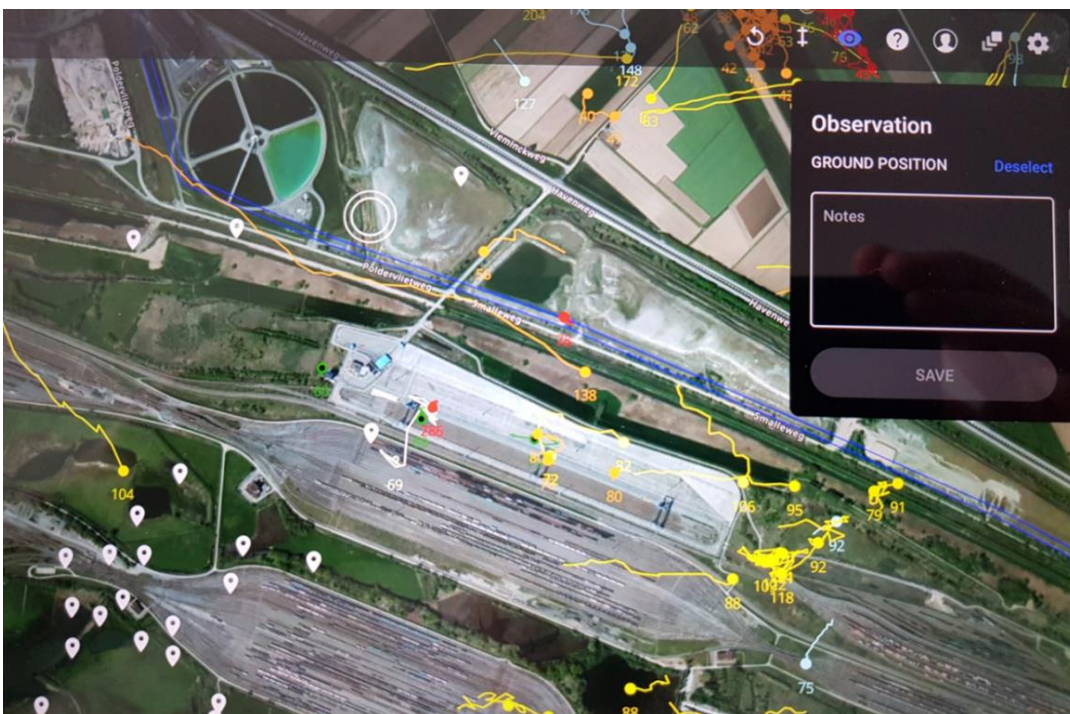
- Bij geen detectie door de radar: selecteren van een positie op de kaart (zie witte ballonnetjes met zwarte punt) en toevoegen info via 'ground position' invoer in 'notes' veld (figuur 9): code telcirkel, code sessie (hier = v), soort(groep), aantal, en geschatte hoogte (h0,1,2,3):

H3: >200 m (boven het rotorvlak van windturbines)

H2: 90-200 m (globaal het volledig rotorvlak)

H1: 30-90 m (globaal nog onder het rotorvlak)

H0: 0-30 m



Figuur 9. Ground position invoer via de observation module in de Mobile Viewer.

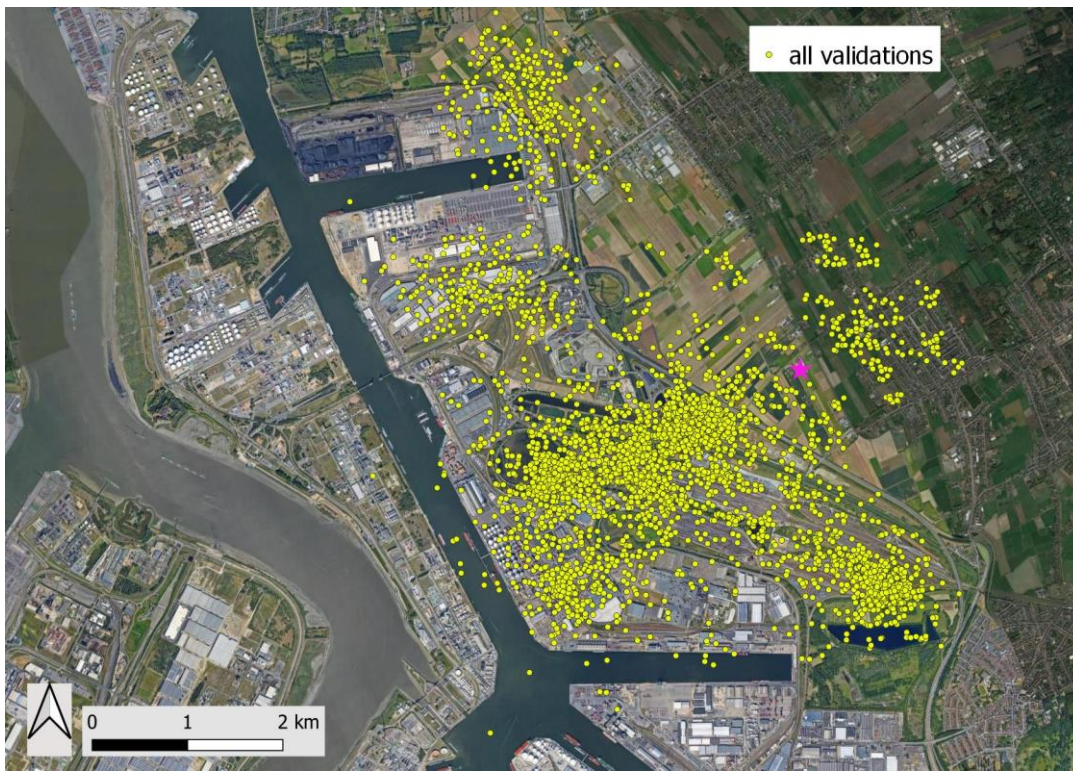




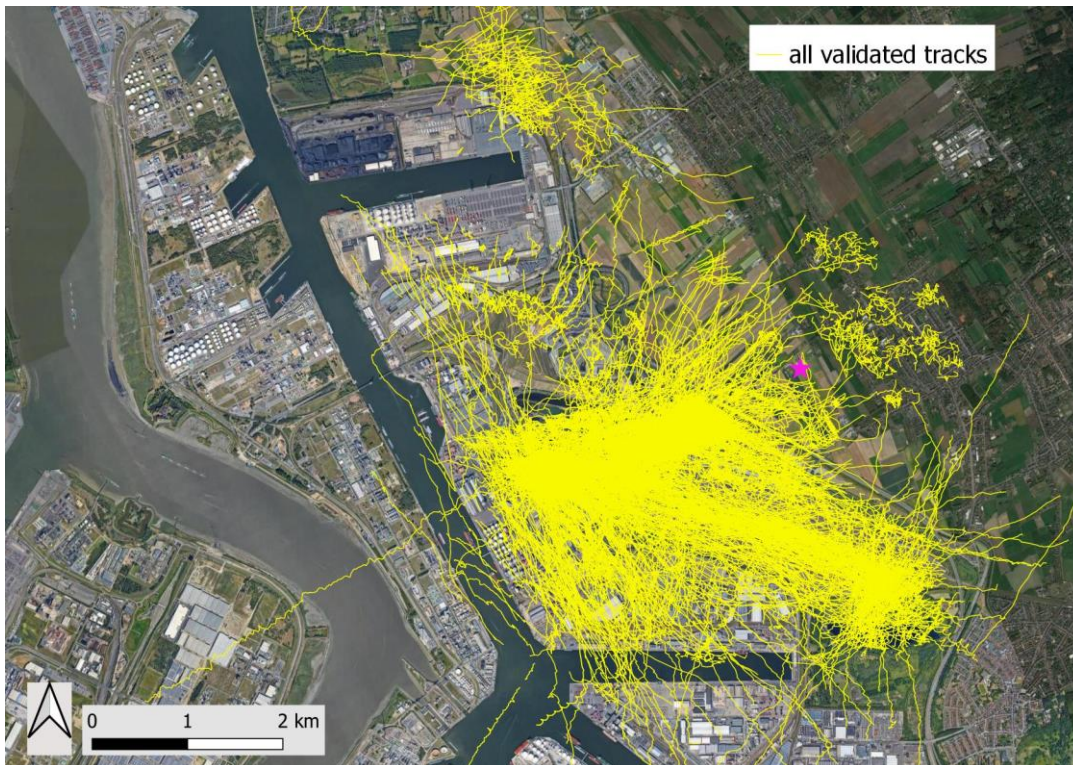


## 5.2 RESULTATEN VALIDATIES

Figuur 10 toont de puntlocaties waar validaties zijn verricht (zowel van radartracks als vogels die de radar niet detecteerde). De corresponderende radartracks zijn zichtbaar in figuur 11.



Figuur 10. Puntlocaties waar validaties werden verricht.



Figuur 11. Radartracks die op één of enkele punten werden gevalideerd.



In de onderstaande resultaten worden de vlieghoogtes van vogels (indien van toepassing) ingedeeld in de hoogteklassen:

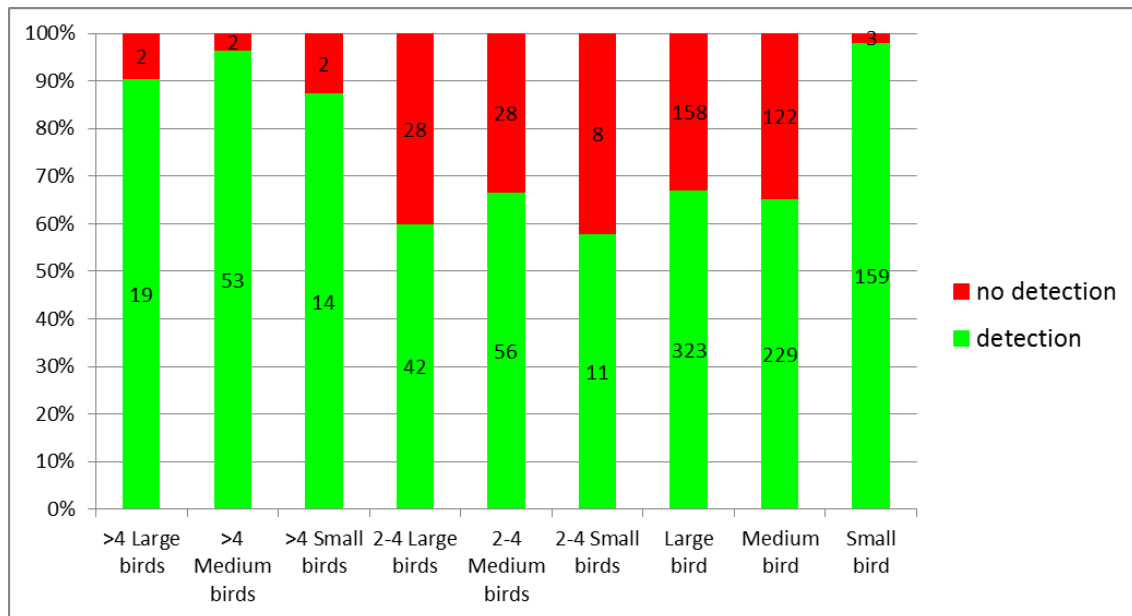
- H3: >200 m (boven het rotorvlak van de windturbines)
- H2: 90-200 m (globaal het volledig rotorvlak)
- H1: 30-90 m (globaal nog onder het rotorvlak)
- H0: 0-30 m

### 5.2.1 Detectiecapaciteit van de radar voor vogels en vleermuizen

De capaciteit van de radar om vogels (en vleermuizen) te detecteren kan enkel bepaald worden op basis van de validatiesessies ‘visueel vs. radar’. Voor grote groepen vogels (>4 vogels) is de detectiecapaciteit overal in het onderzoeksgebied (alle telcirkels) zeer goed (figuur 12). Voor individuele vogels of voor enkele vogels (2-4) die dichtbij elkaar vlogen, is de detectiecapaciteit globaal gezien matig. Het globaal resultaat voor kleine groepjes dicht bij elkaar vliegende vogels (2-4 ex.) lijkt dus niet echt beter te zijn dan bij individuele vogels.

De hoge detectiecapaciteit voor individuele kleine vogels mag niet verkeerd geïnterpreteerd worden. Dit ligt aan het feit dat er o.a. een groot aantal gevalideerde gierzwaluwen zeer goed werden gedetecteerd in telcirkels 2 en 5. Het is dus belangrijk om ook de detectiecapaciteit per telcirkel en hoogteklasse te bekijken (zie verder).

In de onderstaande resultaten is de laagste hoogteklasse (H0: 0-30 m) niet meegenomen. Globaal was de detectiecapaciteit in deze zone uiteraard minder dan in de meest belangrijke (in functie van analyse impact door windturbines) hoogteklassen H1-3.

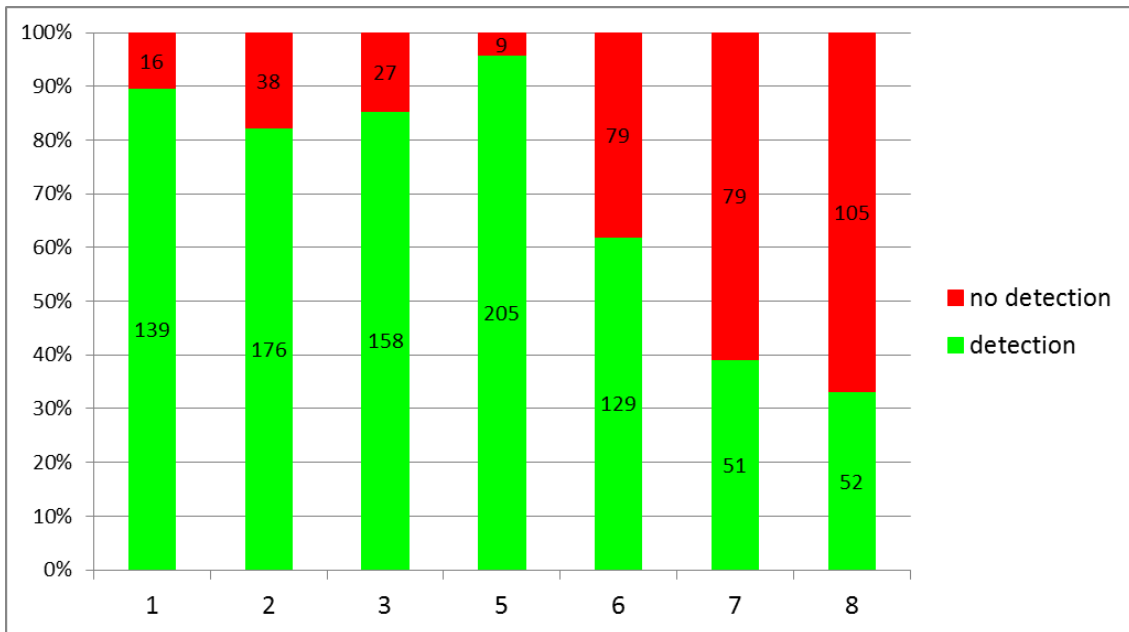


Figuur 12. Vogeldetectie capaciteit per gevalideerde vogelklasse, in hoogteklassen H1-3 (n = 1259).

In figuur 13 is het globaal verschil weergegeven tussen de verschillende telcirkels, voor de meest belangrijke hoogteklassen H1-3 samen. Hieruit is duidelijk dat er in de telcirkels 1 tot 5 een (zeer) goede vogeldetectie is. Midden in de windturbinezone ter hoogte van telcirkel 6 is dit eerder matig tot goed (afhankelijk van vlieghoogte, zie verder), en in de noordelijke telcirkels 7 en 8 is de vogeldetectie matig tot slecht.

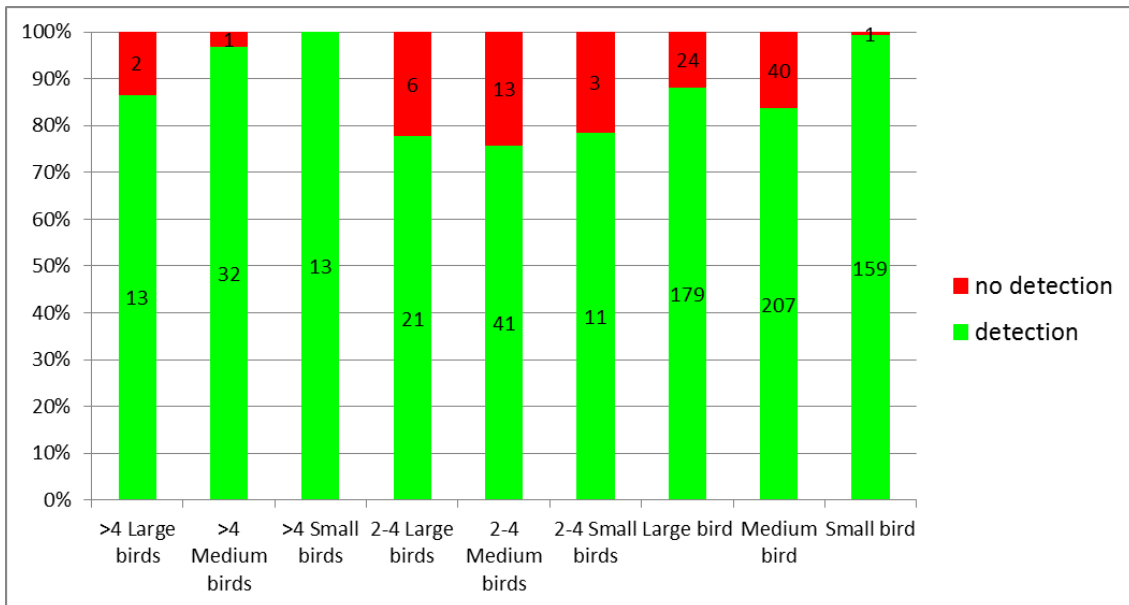






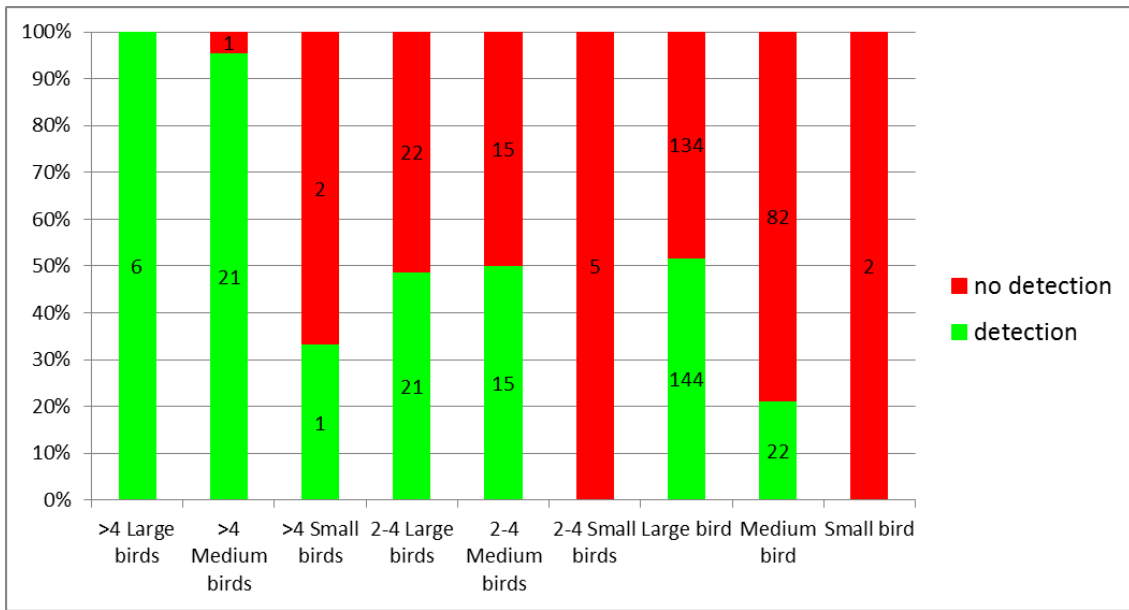
Figuur 13. Vogeldetectie capaciteit per telcirkel, in de hoogteklassen H1-3 (n = 1259).

Als we de eerdere figuur 12 (alle telcirkels samen) opsplitsen tussen enerzijds de resultaten voor telcirkels 1 tot 5 (goede tot zeer goede detectie) en anderzijds deze voor telcirkels 6 tot 8 waar de detectie (wat) minder was, zien we een gelijkaardig beeld maar dan overal duidelijk beter voor de telcirkels 1 tot 5 (figuur 14) en minder goed bij telcirkels 6 tot 8 (figuur 15). Een minder goede detectiecapaciteit lijkt globaal dus vooral het gevolg van de grotere afstand tot de radar en mogelijke storende structuren tussenin (bomen, gebouwen, enz., zie ook verder).



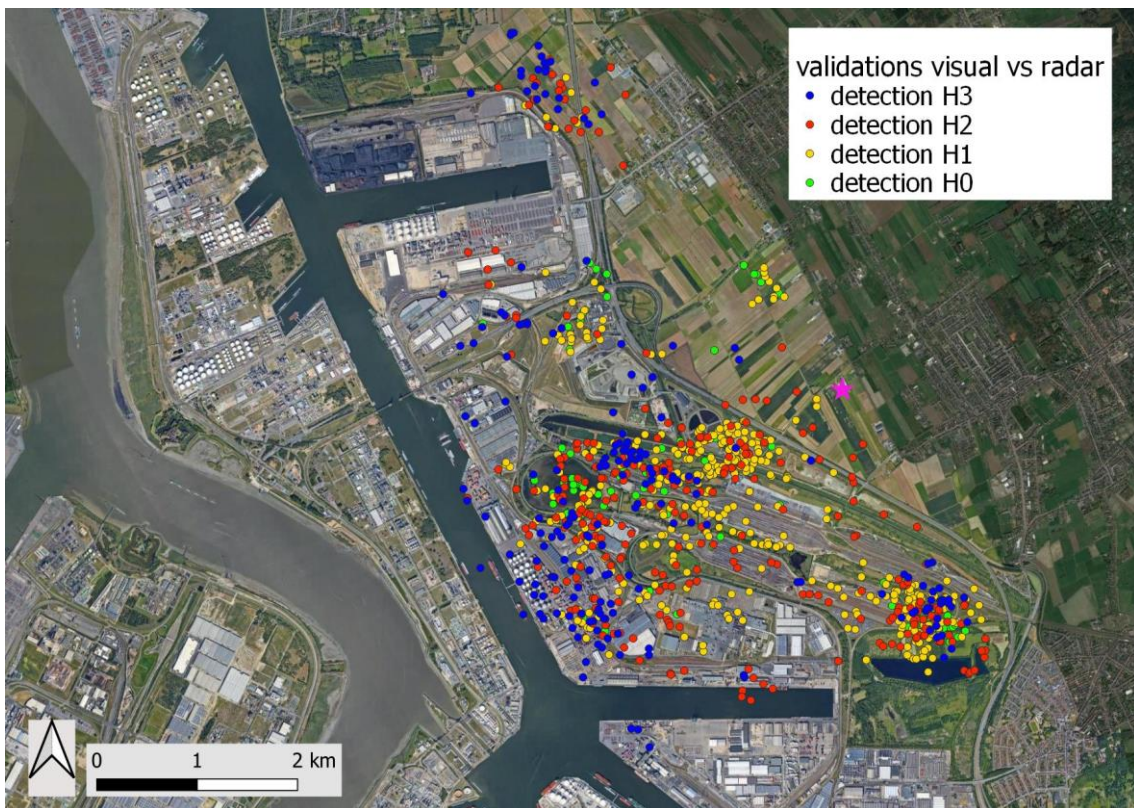
Figuur 14. Vogeldetectie capaciteit per gevalideerde vogelklasse, in hoogteklassen H1-3, voor de telcirkels 1, 2, 3 en 5.





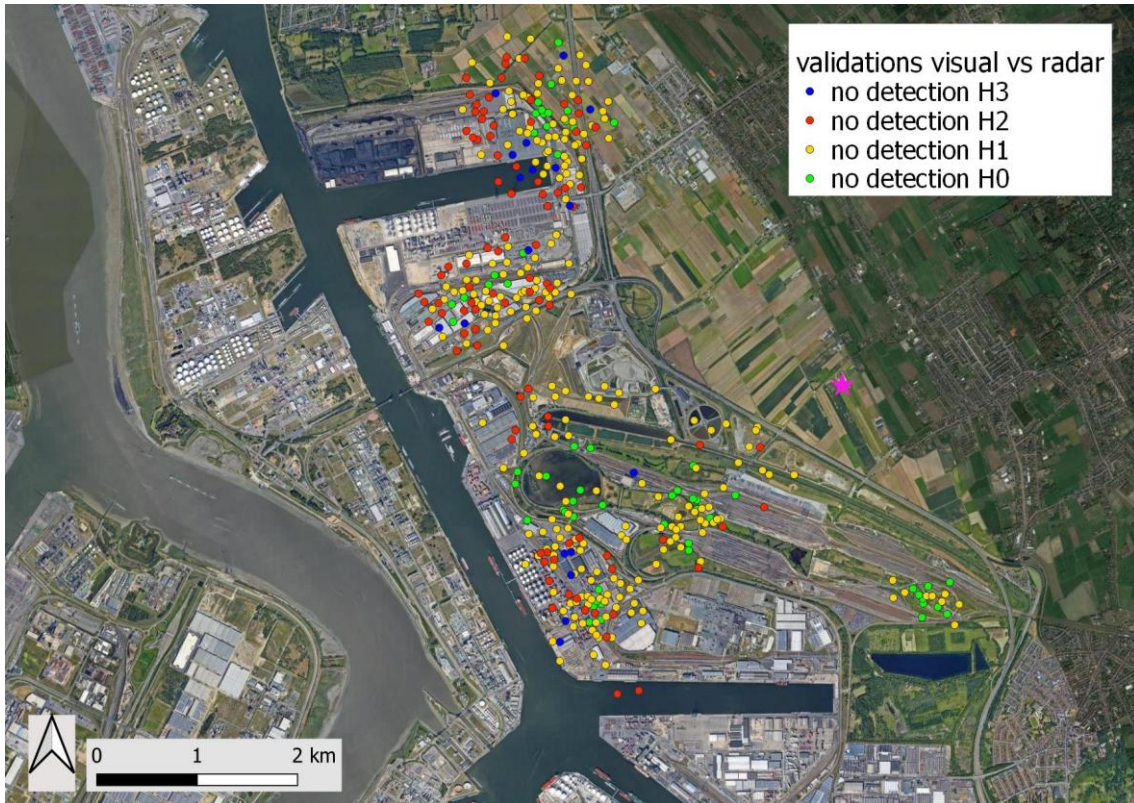
Figuur 15. Vogeldetectie capaciteit per gevalideerde vogelklasse, in hoogteklassen H1-3, voor de telcirkels 6, 7 en 8.

In de figuren 16-18 zien we de vogeldetectie capaciteit ruimtelijk (op basis van de puntlocaties van de validatiemomenten voor gevalideerde vogeltracks) ook duidelijk afnemen met de afstand tot de radar en door tussenliggende storende objecten, met verderop van de radar ook relatief veel niet gedetecteerde vogels in de hoogteklassen H2 en H3.



Figuur 16. Visueel vs. radar validatie (puntlocaties validatiemomenten): selectie van goede detecties.





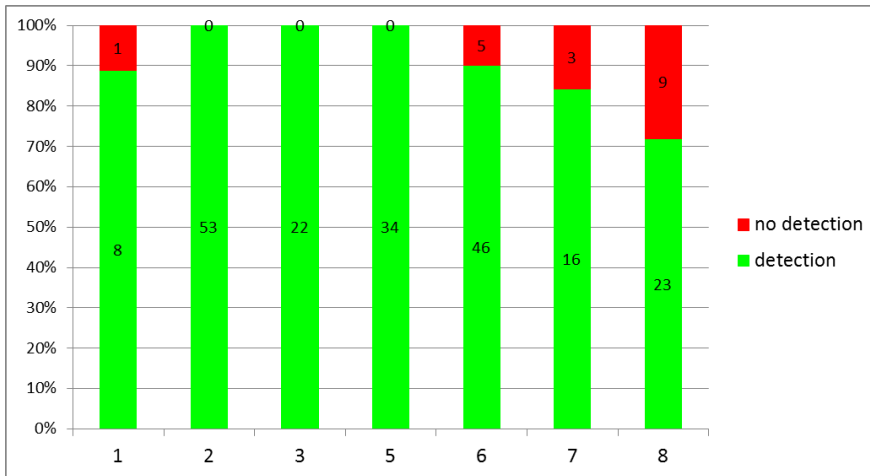
Figuur 17. Visueel vs. radar validatie (puntlocaties validatiemomenten): selectie van niet-detecties.



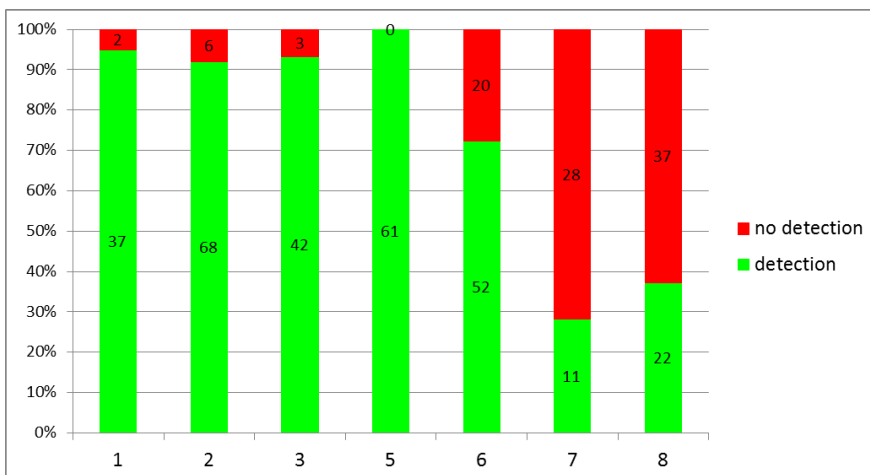
Figuur 18. Visueel vs. radar validatie (puntlocaties validatiemomenten). selectie van niet-detecties en algemene weergave van detecties.



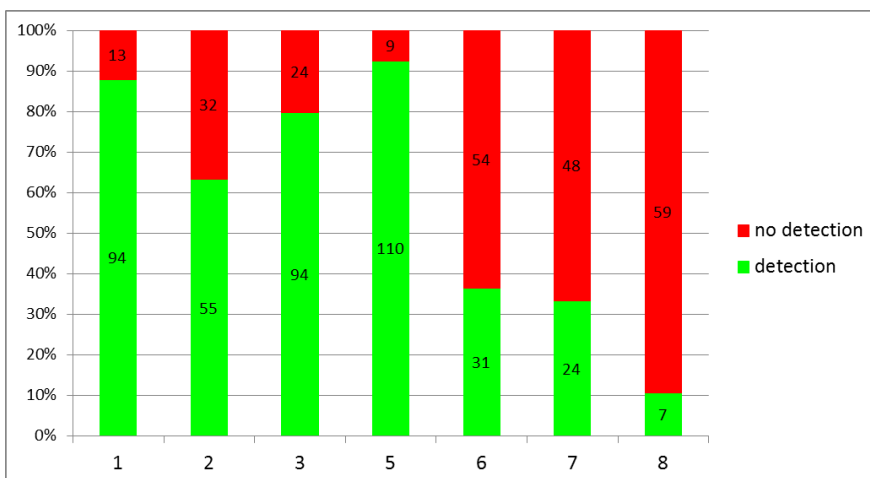
Per hoogteklasse (H1-3) zien we dat de detectiecapaciteit in de lagere hoogteklasse H1 wat minder (matig tot goed) is in telcirkels 2 en 3. In de windturbinezone ter hoogte van telcirkel 6 is dit nog matig tot goed in de hoogteklasse H2 (rotorhoogte) hoewel daar toch nog bijna 30% van de vogels niet gezien wordt (figuren 19-21).



Figuur 19. Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H3 (n = 220).



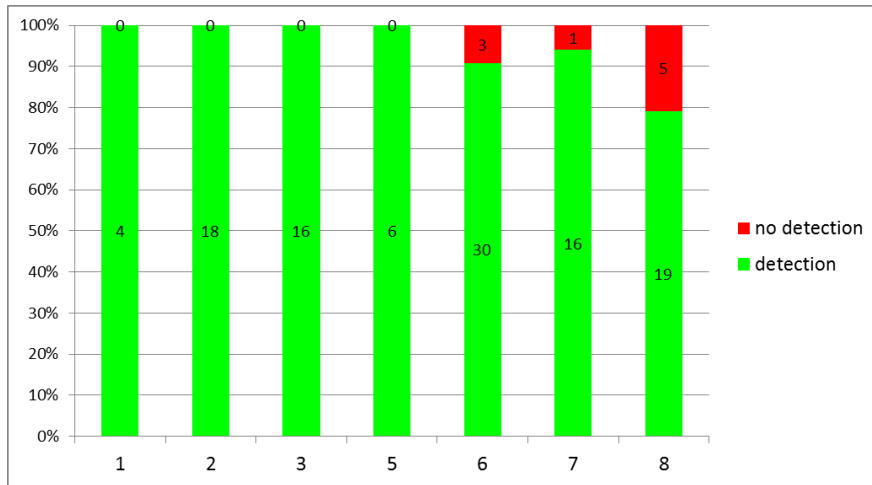
Figuur 20. Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H2 (n = 389).



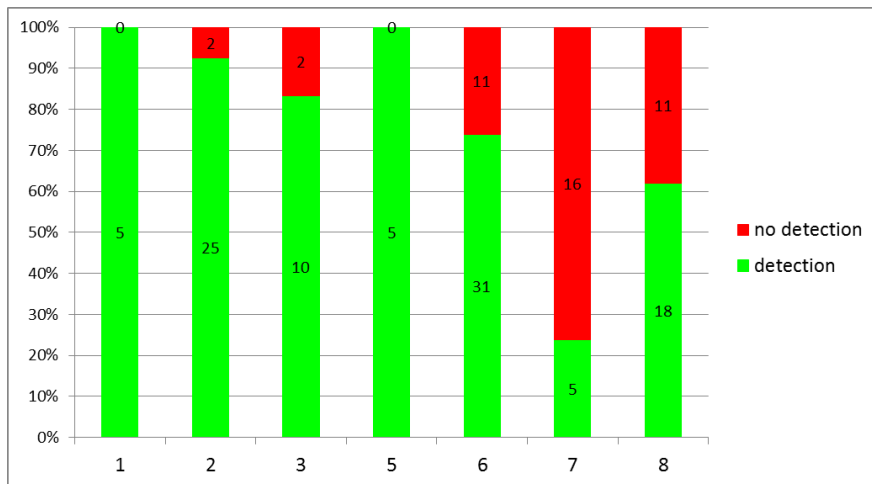
Figuur 21. Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H1 (n = 654).



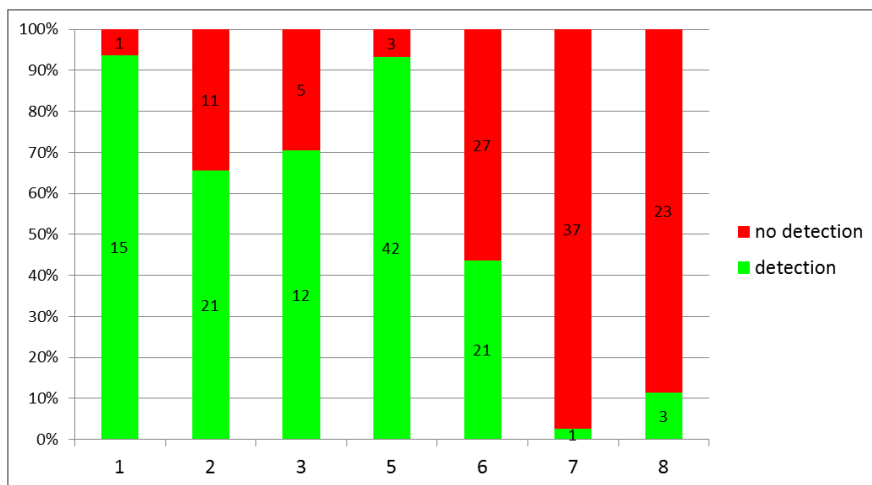
In de figuren 22-24, 25-27 en 28-30 is de detectiecapaciteit per hoogteklasse (H1-3) weergegeven voor resp. individuele grote, middelgrote en kleine vogels. Hier zien we dat de detectiecapaciteit zoals verwacht globaal gezien afneemt met kleinere vogelgroottes.



Figuur 22. Detectiecapaciteit voor grote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H3 (n = 118).

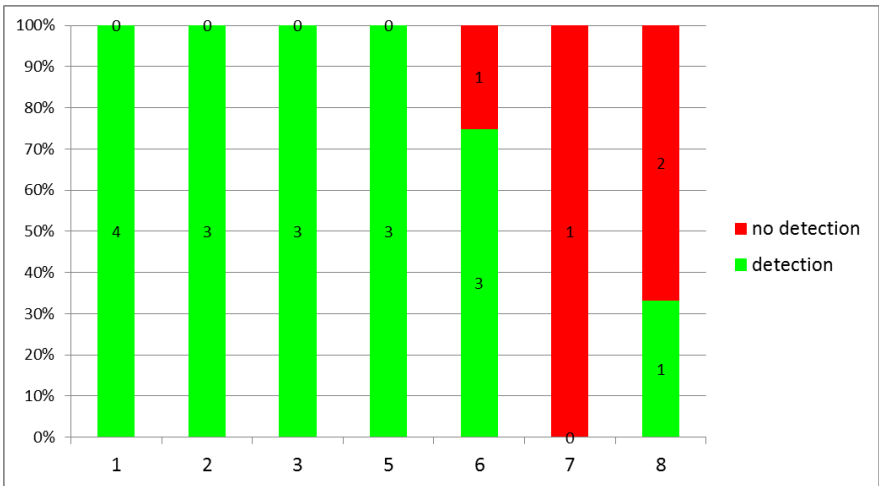


Figuur 23. Detectiecapaciteit voor grote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H2 (n = 141).

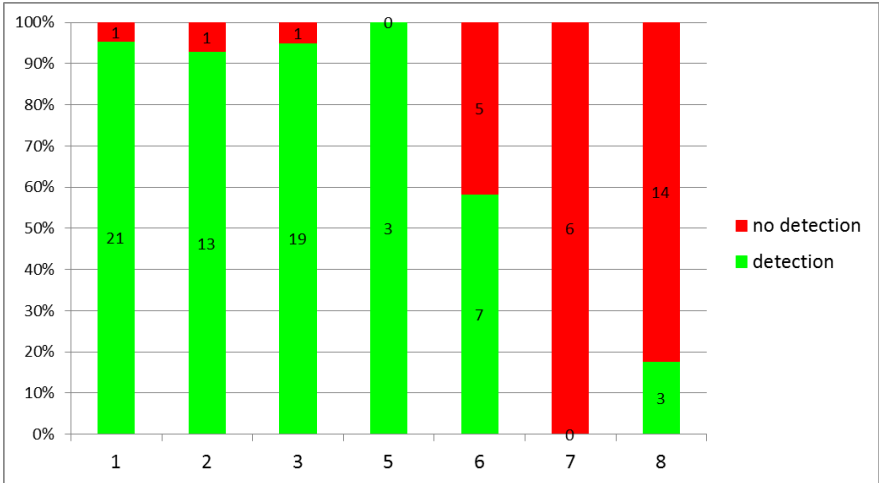


Figuur 24. Detectiecapaciteit voor grote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1 (n = 222).

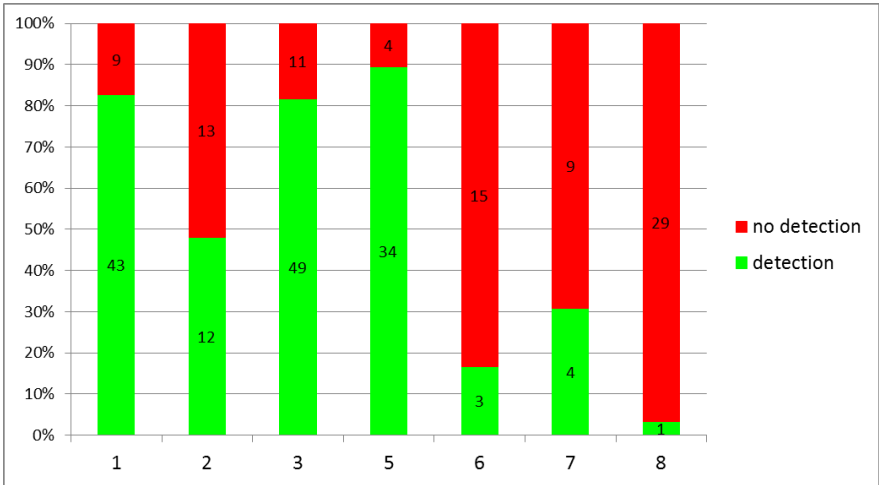




Figuur 25. Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H3 (n = 21).



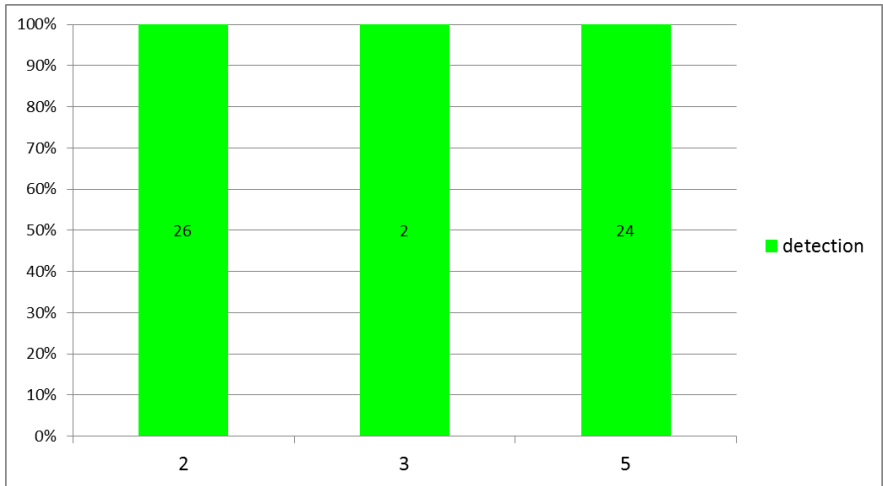
Figuur 26. Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H2 (n = 94).



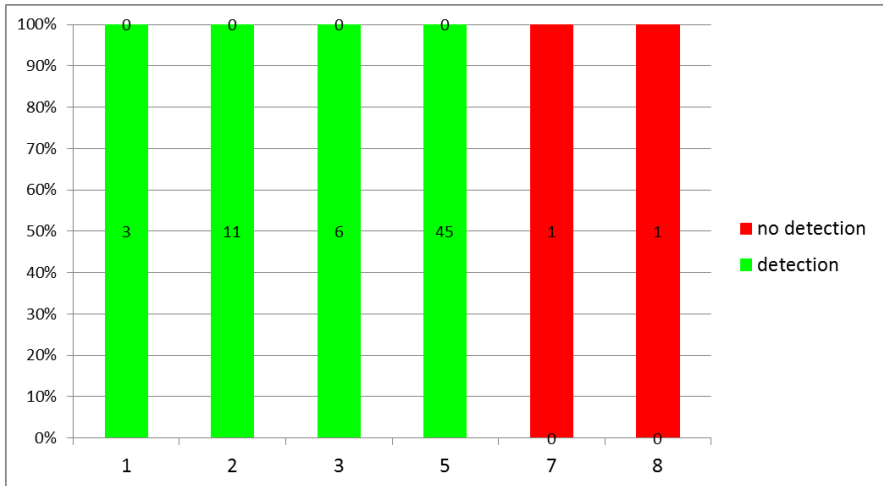
Figuur 27. Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1 (n = 236).



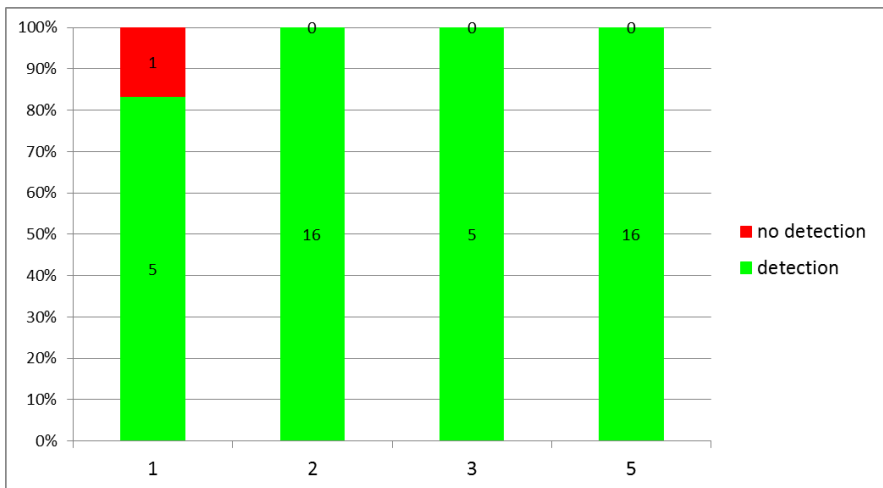




Figuur 28. Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel (waarvoor data beschikbaar zijn) voor de hoogteklasse H3 (n = 52).

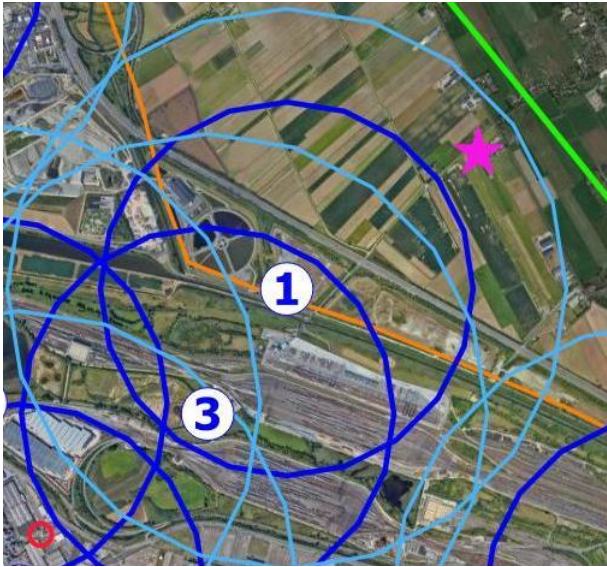


Figuur 29. Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H2 (n = 67).

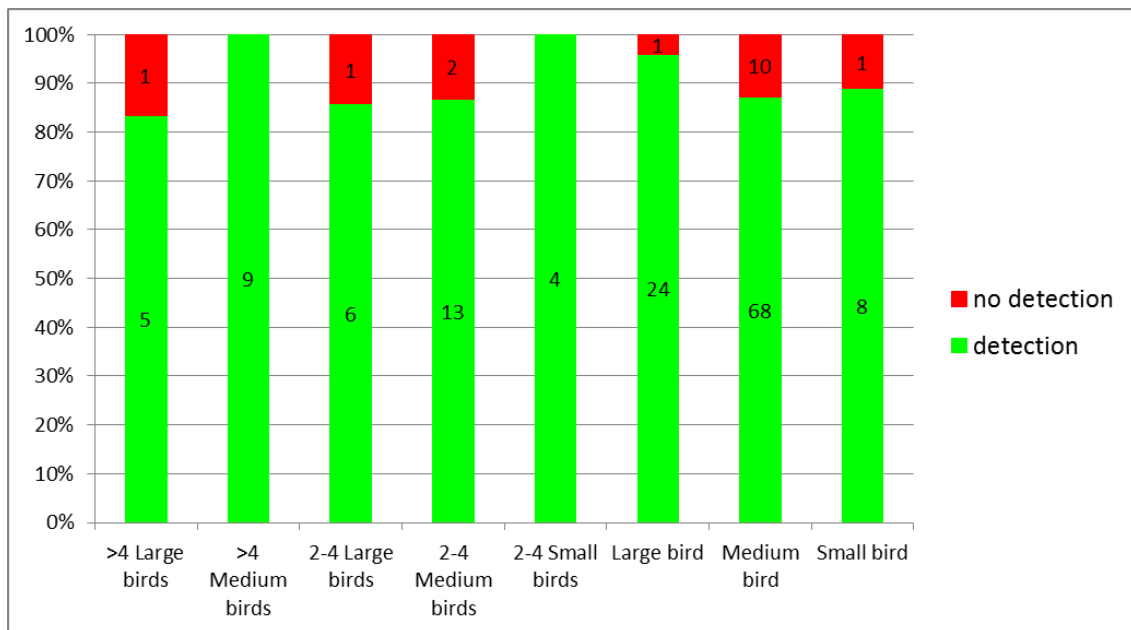


Figuur 30. Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1 (n = 43).

Meer in detail per telcirkel, zie we dat de detectiecapaciteit in **telcirkel 1** goed tot zeer goed is voor alle vogelclassificaties (figuur 31 en 32).

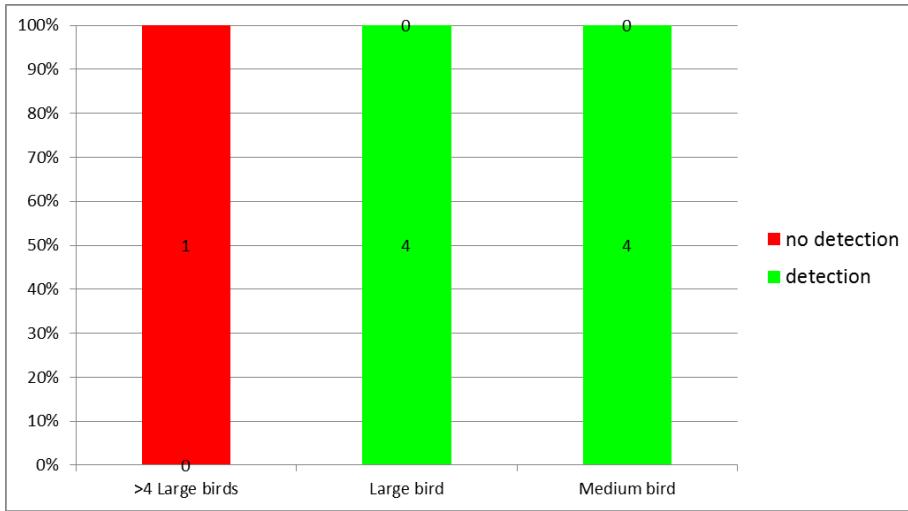


Figuur 31. Situering van telcirkel 1 (zie ook figuur 5).

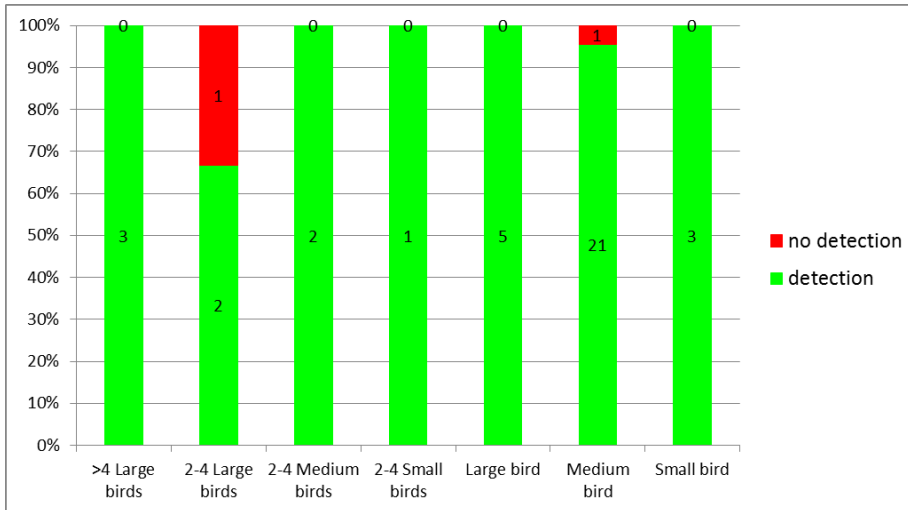


Figuur 32. Telcirkel 1 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 153).

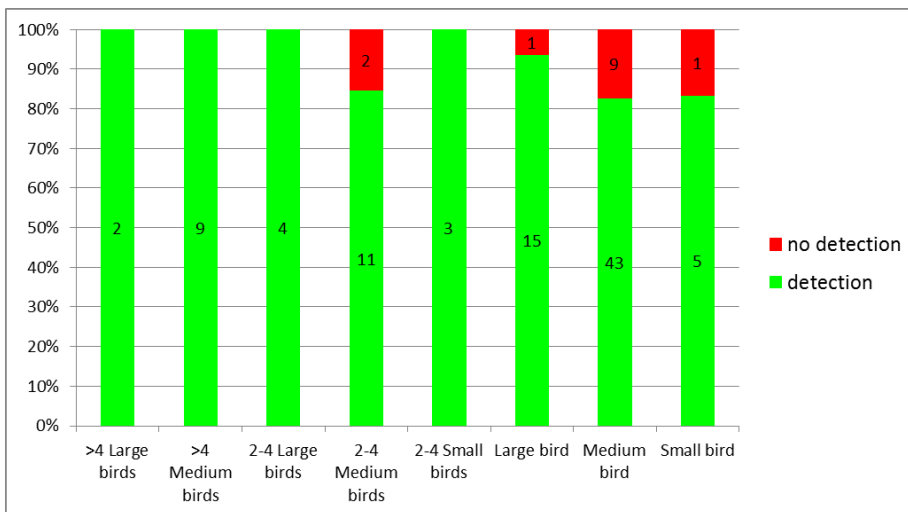
Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we enkele uitschieters van geen detectie maar dit zal te wijten zijn aan het kleine aantal validaties voor deze gevallen. De resultaten voor de vogelklassen met het hoogste aantal gevallen zijn het meest betrouwbaar (figuren 33-35).



Figuur 33. Telcirkel 1 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 9).



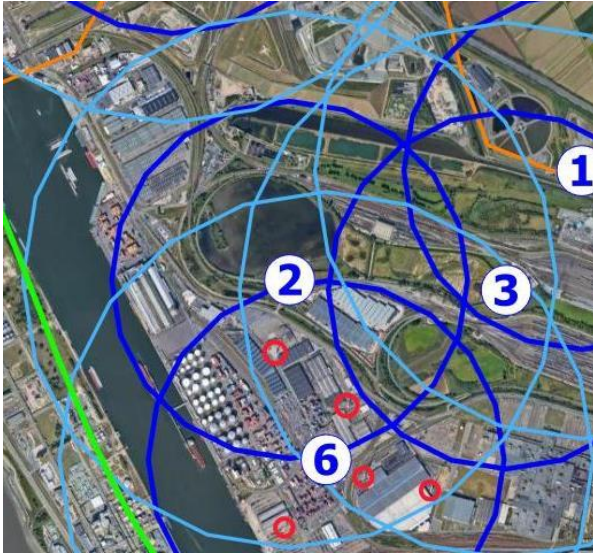
Figuur 34. Telcirkel 1 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 39).



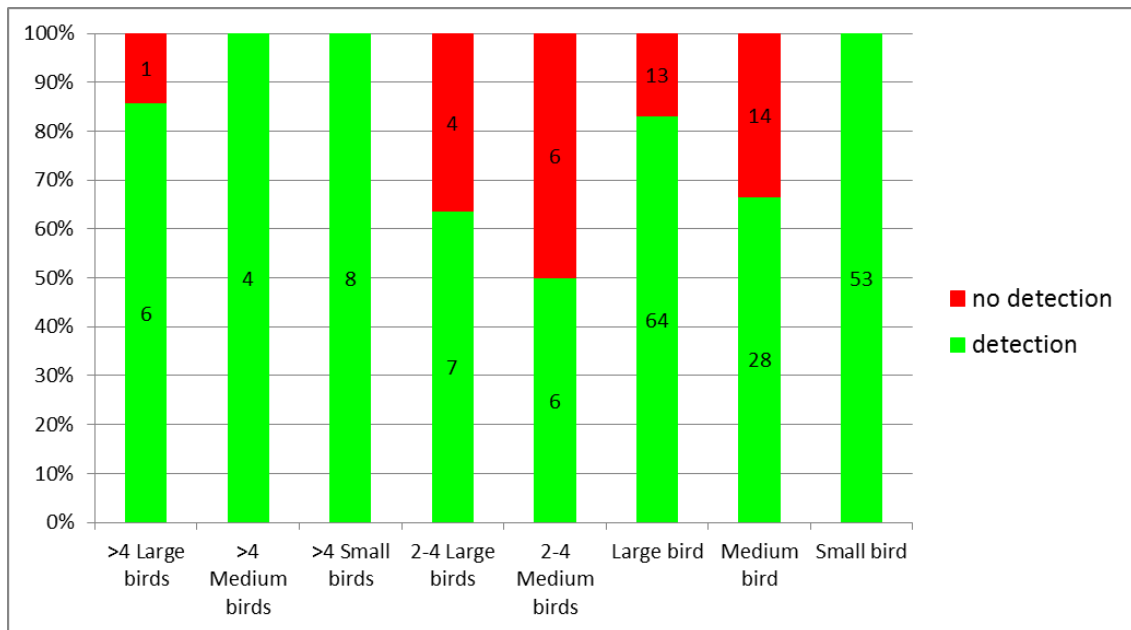
Figuur 35. Telcirkel 1 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 105).



In **telcirkel 2** is de detectiecapaciteit globaal gezien goed voor de meeste vogelclassificaties (figuur 36 en 37). De resultaten voor de vogelklassen met het hoogste aantal gevallen zijn het meest betrouwbaar. Naast de grotere afstand tot de radar (in vergelijking met telcirkel 1) lijkt de wat mindere detectiecapaciteit hier ook te liggen aan niet-detecties in de meest noordelijke en zuidelijke rand van deze telcirkel (zie ook eerdere figuren 16-18). In de noordelijke rand zal dit o.a. het gevolg zijn van een 'schaduwzone' achter een bosje dichtbij de radar (zie detailbespreking in hoofdstuk 8). In de zuidelijke rand lijkt dit o.a. het gevolg van enkele gebouwen en opgestapelde containers.



Figuur 36. Situering van telcirkel 2 (zie ook figuur 5).

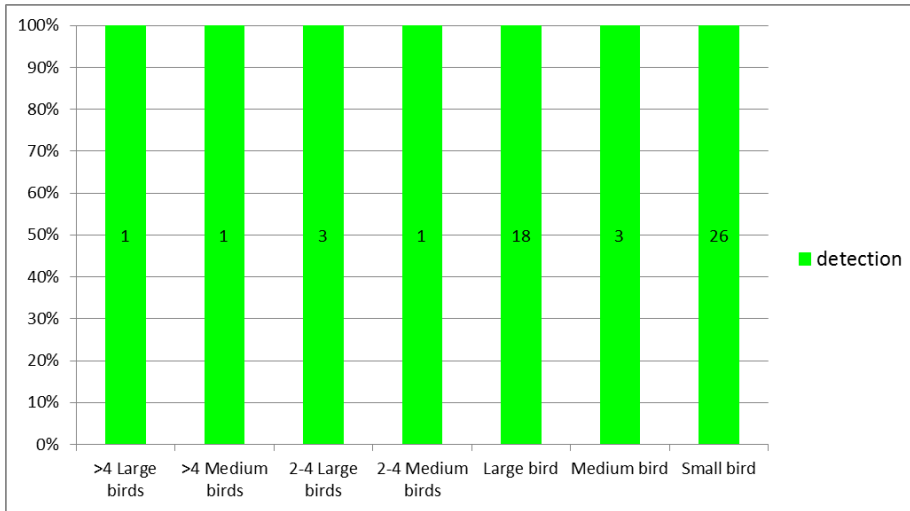


Figuur 37. Telcirkel 2 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 214).

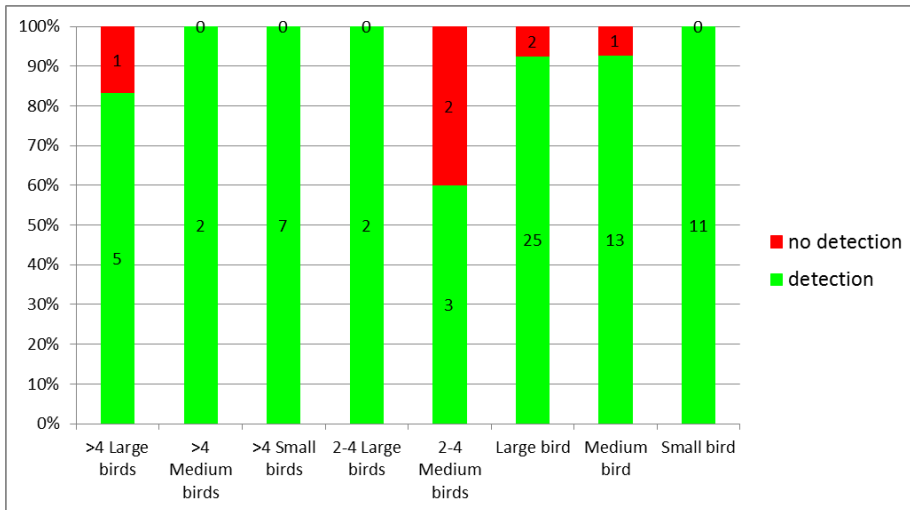
Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we dat H1 een eerder matige detectiecapaciteit heeft maar vanaf H2 (rotorhoogte windturbines) is de detectie goed tot zeer goed (figuren 38-40).



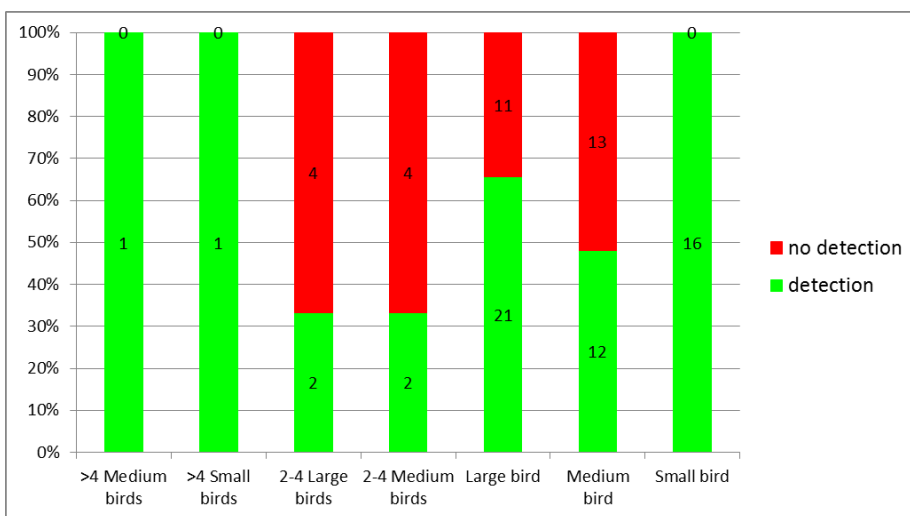




Figuur 38. Telcirkel 2 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 53).

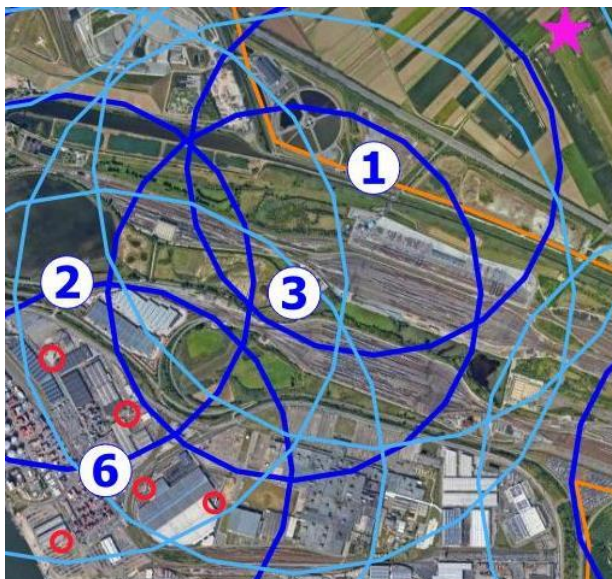


Figuur 39. Telcirkel 2 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 74).

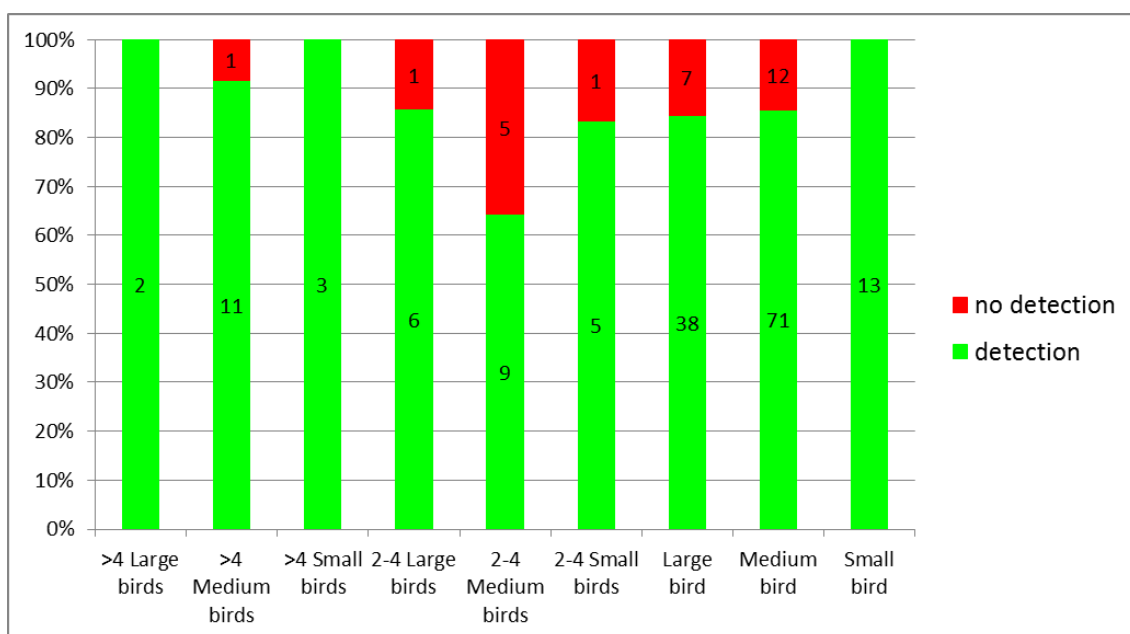


Figuur 40. Telcirkel 2 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 87).

In **telcirkel 3** is de detectiecapaciteit globaal gezien goed tot zeer goed voor de meeste vogelclassificaties (figuur 41 en 42). De resultaten voor de vogelklassen met het hoogste aantal gevallen zijn het meest betrouwbaar.



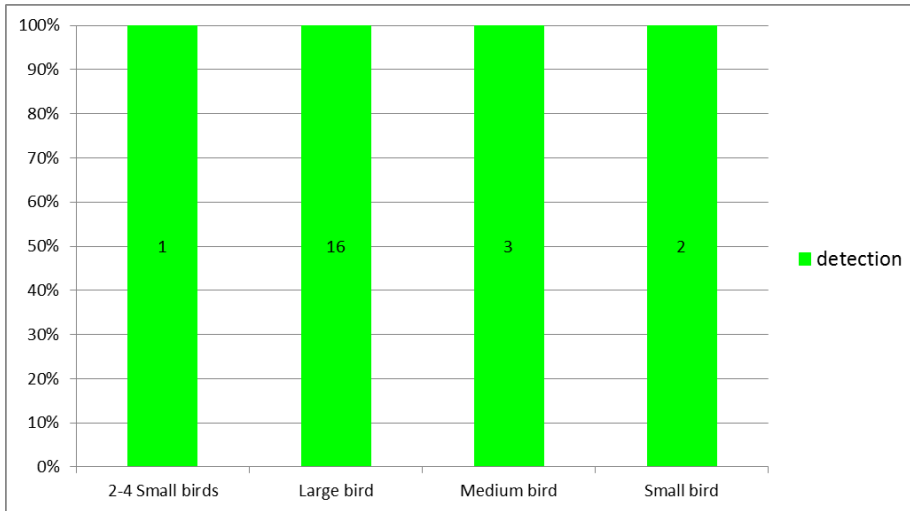
Figuur 41. Situering van telcirkel 3 (zie ook figuur 5).



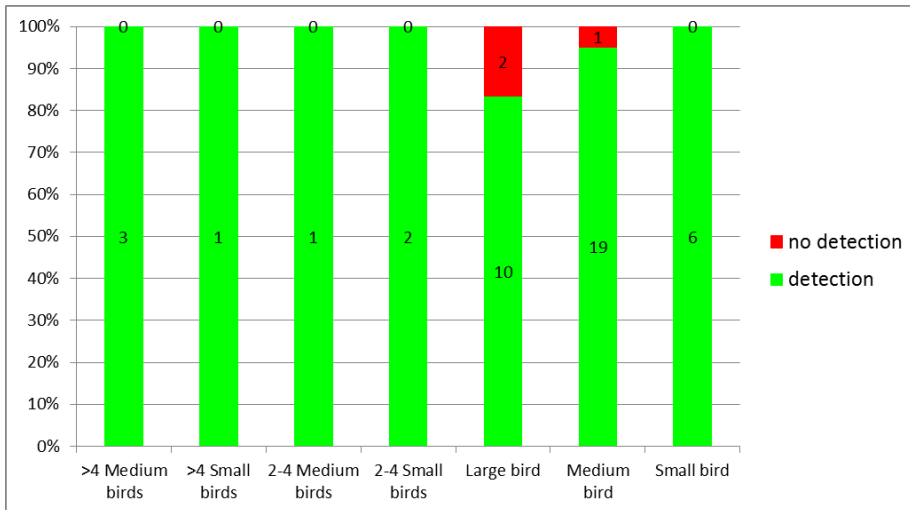
Figuur 42. Telcirkel 3 vogeldetecie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 185).

Ogesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we enkele uitschieters (bijvoorbeeld voor grote vogels in H2) waarvoor zeer lokale factoren (verstoring zicht) een oorzaak lijken te hebben, alsook het toeval-effect van kleinere validatieaantallen (figuren 43-45, zie ook eerdere figuren 16-18).

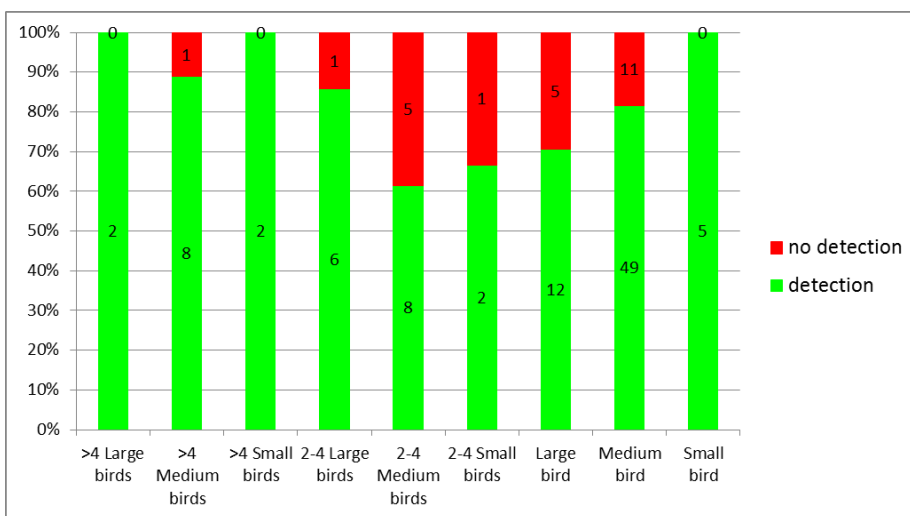




Figuur 43. Telcirkel 3 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 22).



Figuur 44. Telcirkel 3 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 45).



Figuur 45. Telcirkel 3 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 118).

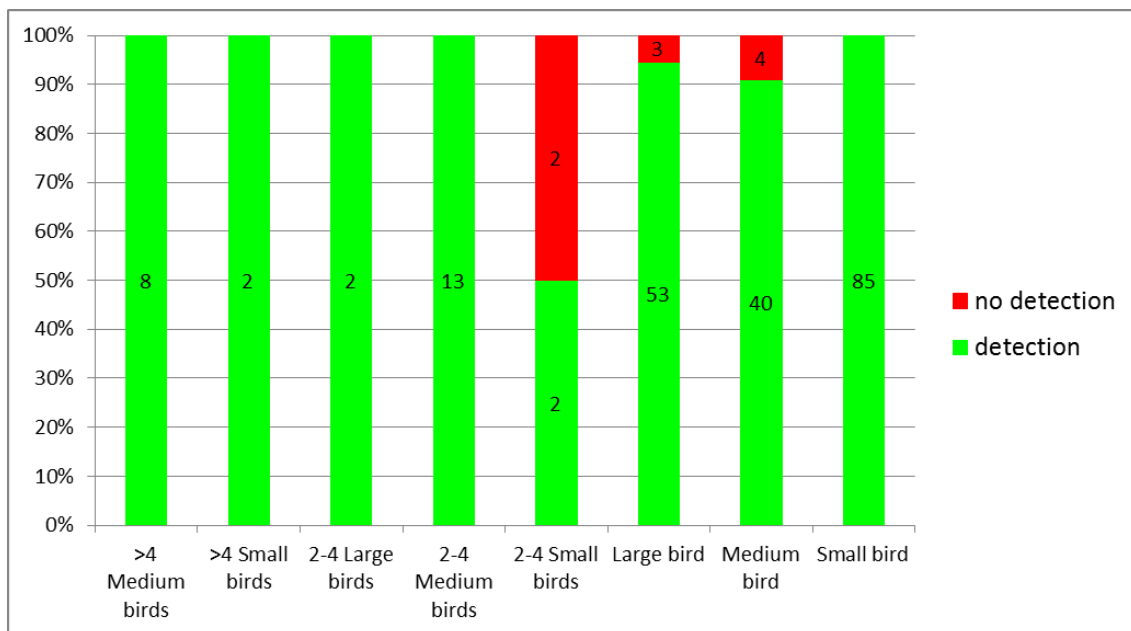


In **telcirkel 5** is de detectiecapaciteit globaal gezien zeer goed voor alle vogelclassificaties (figuur 46 en 47). Ruimtelijk zien we dat het gebied tussen de radar en telcirkel 5 relatief open is zonder belangrijke structuren die storend kunnen werken voor een goed radarzicht.

De negatieve uitschieter van de detectiecapaciteit bij 2-4 kleine vogels zal liggen aan het toeval-effect door het kleine aantal validaties voor deze vogelklasse.



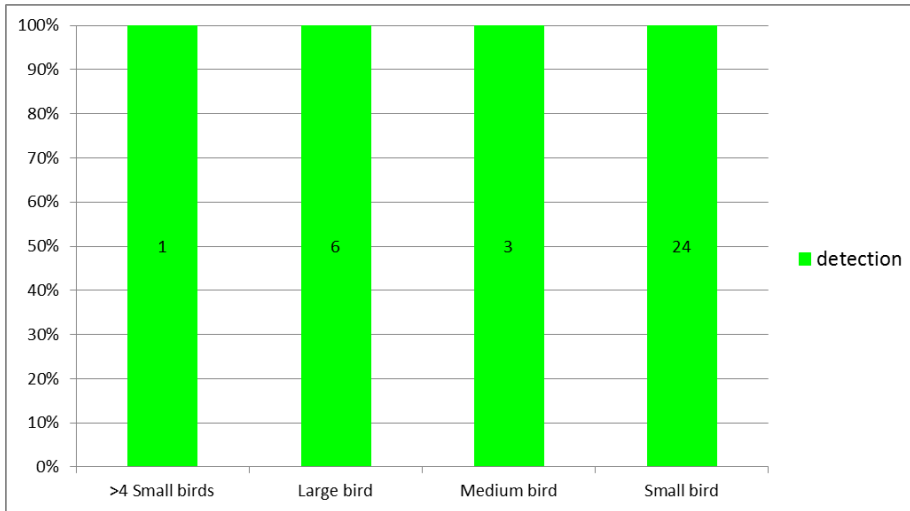
Figuur 46. Situering van telcirkel 5 (zie ook figuur 5).



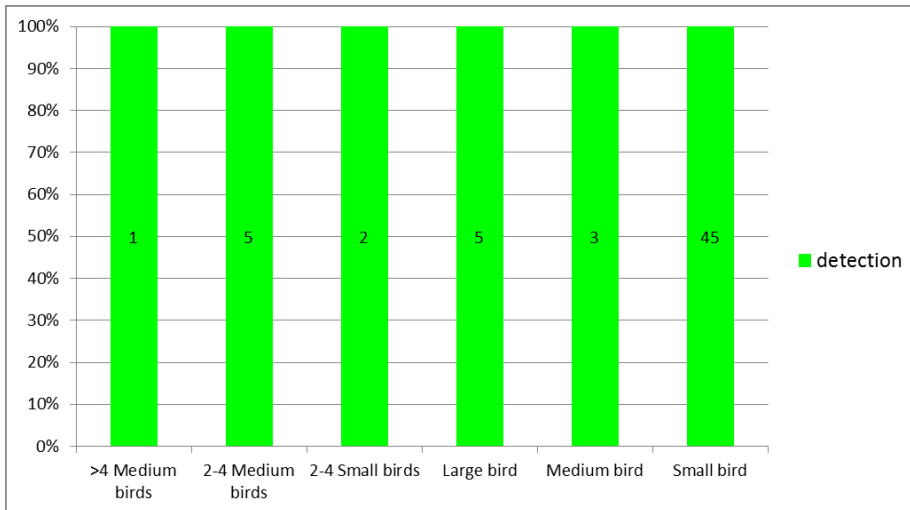
Figuur 47. Telcirkel 5 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 214).

Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we - naast de uitschieter omwille van toeval bij een klein aantal waarnemingen – dat de detectiecapaciteit zelfs in de hoogteklasse H1 zeer goed is (figuren 48-50).

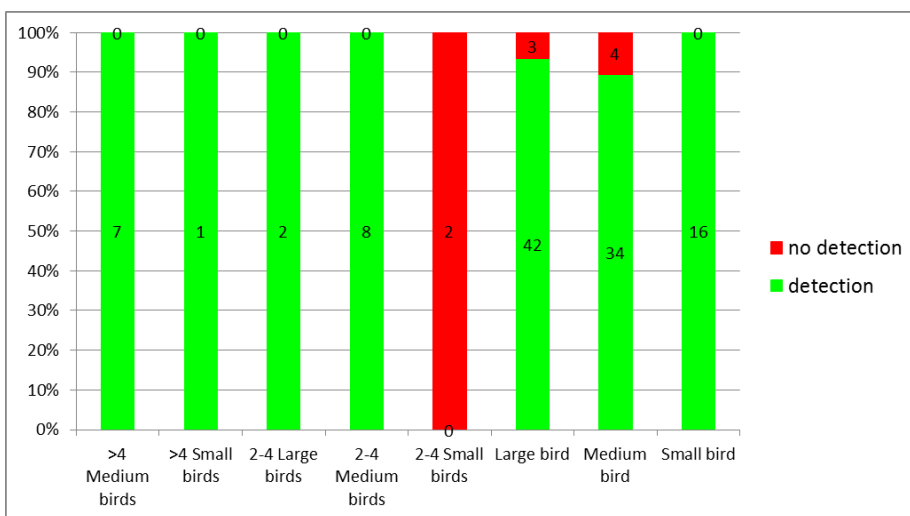




Figuur 48. Telcirkel 5 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogtekasse H3 (n = 34).



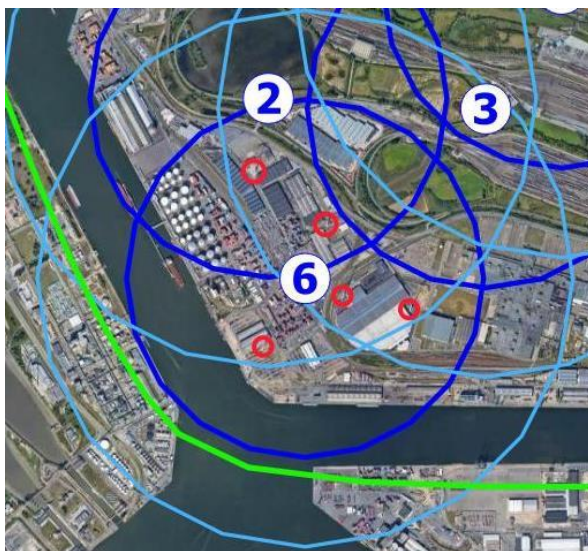
Figuur 49. Telcirkel 5 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogtekasse H2 (n = 61).



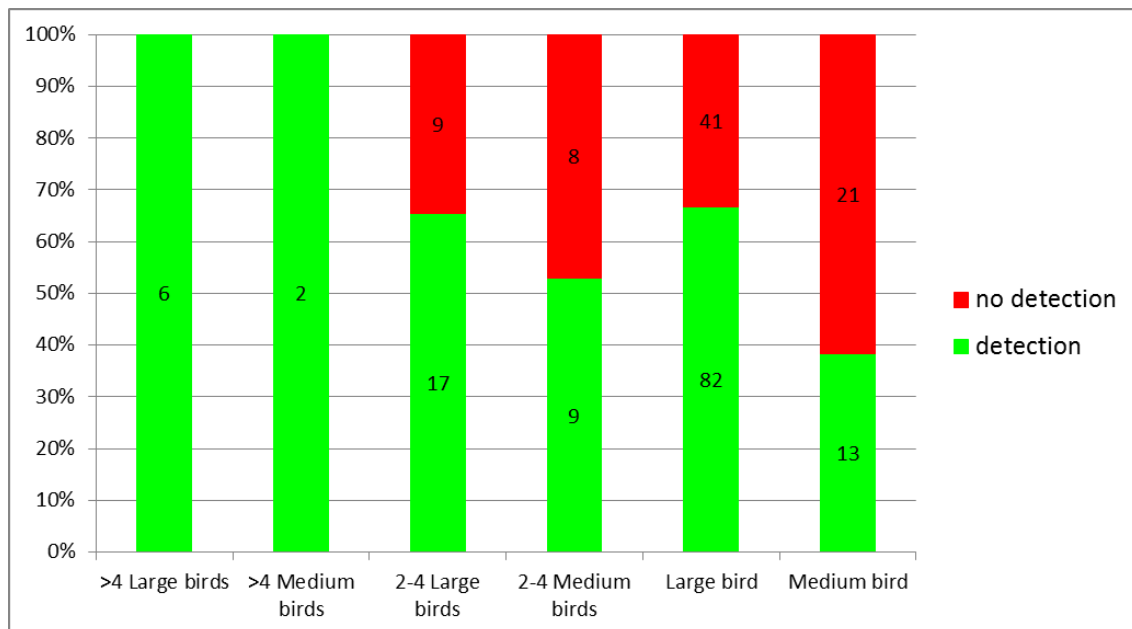
Figuur 50. Telcirkel 5 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogtekasse H1 (n = 119).

In **telcirkel 6** varieert de detectiecapaciteit globaal gezien van vrij goed tot matig en vrij slecht voor individuele vogels maar wel nog zeer goed voor groepen van meer dan 4 grote of middelgrote vogels (figuur 51 en 52). De resultaten voor de vogelklassen met het hoogste aantal gevallen uiteraard het meest betrouwbaar.

Op basis van het ruimtelijk overzicht lijken naast de afstand tot de radar zeer lokale factoren zoals verstoring door gebouwen en opgestapelde containers mee een oorzaak te zijn van een vaak tijdelijk mindere detectiecapaciteit met relatief veel afgebroken vogeltracks tot gevolg (zie ook eerdere figuren 16-18).

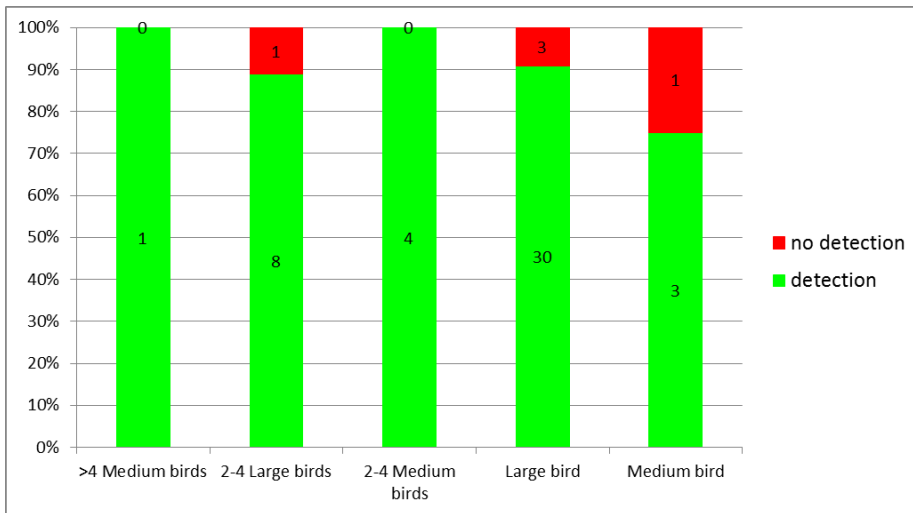


Figuur 51. Situering van telcirkel 6 (zie ook figuur 5).

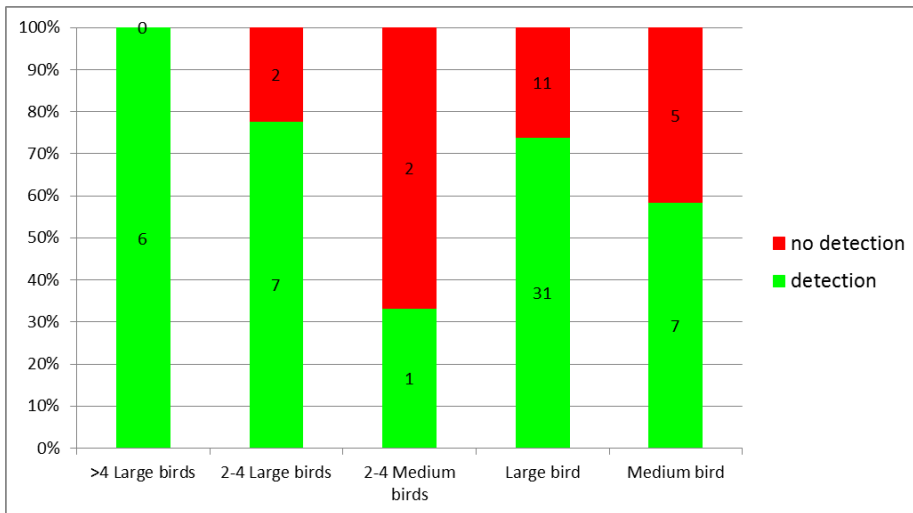


Figuur 52. Telcirkel 6 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 208).

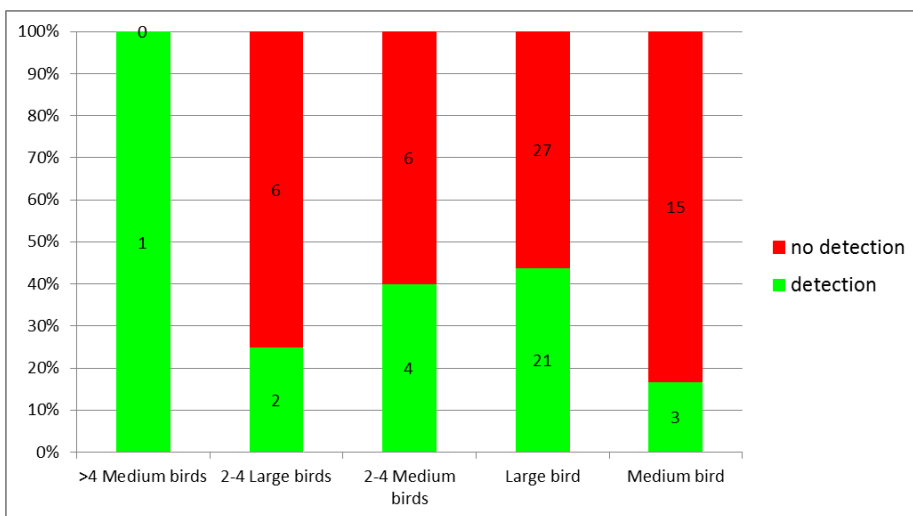
Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we dat de detectiecapaciteit voor grote/middelgrote vogels in de hoogteklasse H2 (rotorhoogte windturbines) nog goed/matig is (figuren 53-55).



Figuur 53. Telcirkel 6 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 51).



Figuur 54. Telcirkel 6 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 72).



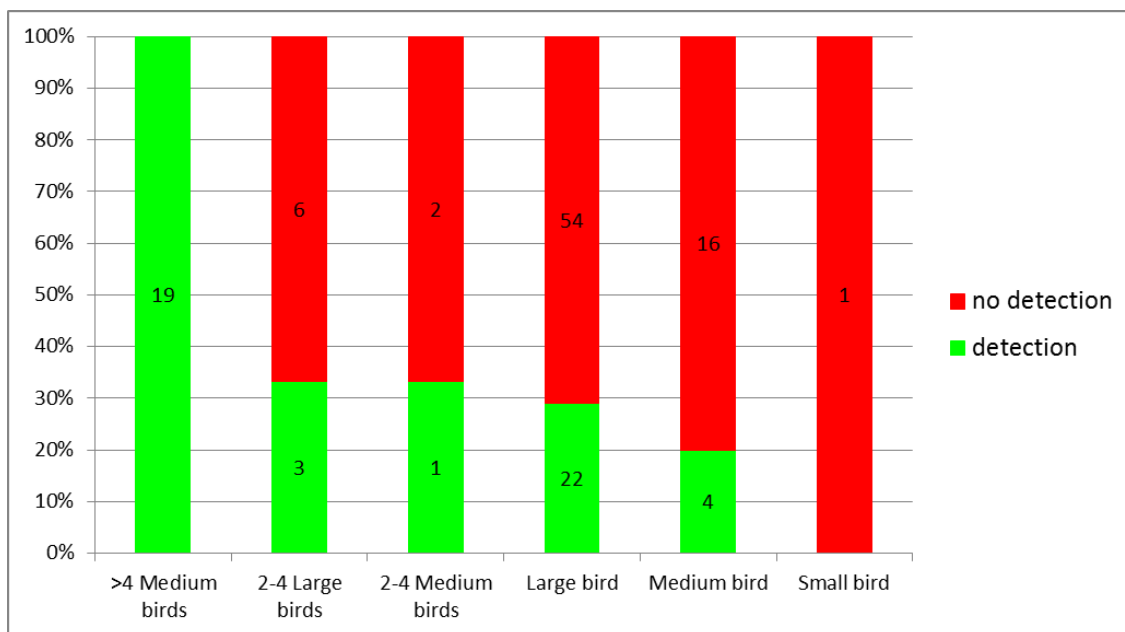
Figuur 55. Telcirkel 6 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 85).



In **telcirkel 7** is de detectiecapaciteit globaal gezien vrij slecht voor de meeste vogelclassificaties, behalve de zeer goede score voor grotere groepen (> 4 middelgrote vogels) (figuur 56 en 57). Naast verstoring door gebouwen zal de oorzaak hiervan in de zuidelijke helft van de telcirkel in belangrijke mate liggen aan een ‘schaduwzone’ achter een bosje dichtbij de radar (zie detailbespreking in hoofdstuk 8). In het meer centraal deel lijkt een boomzone in de verhoogde lus van de verkeerswisselaar tussen de A12 en R2 ook te zorgen voor zo’n schaduwzone met een mindere detectiecapaciteit verderop (zie ook verder in hoofdstuk 8).



Figuur 56. Situering van telcirkel 7 (zie ook figuur 5).

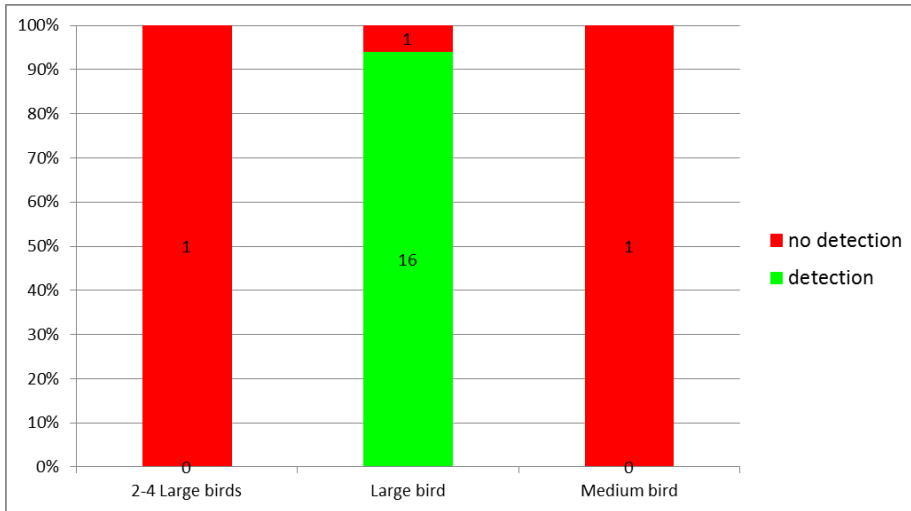


Figuur 57. Telcirkel 7 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 128).

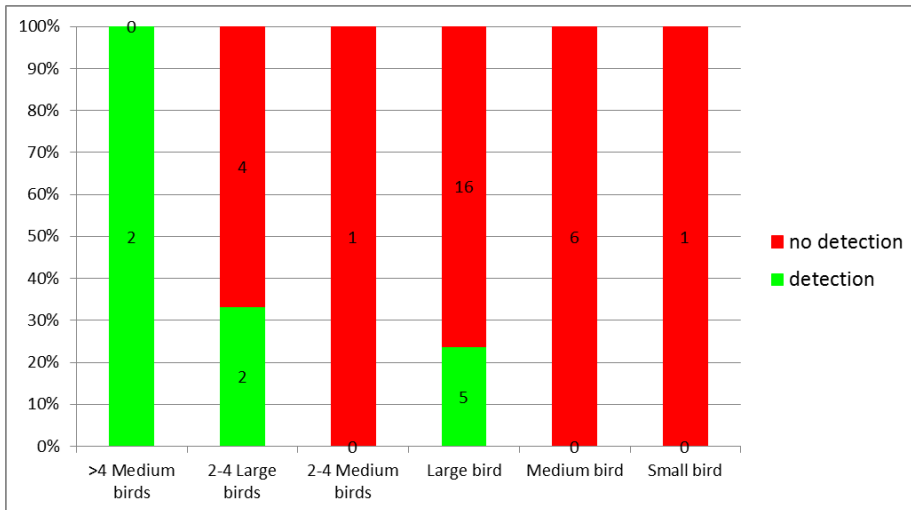
Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we dat de detectiecapaciteit voor grote vogels in H3 toch nog zeer goed is, maar op lagere hoogtes is de detectie matig tot vrij slecht, behalve voor grotere groepen vogels (figuren 58-60).



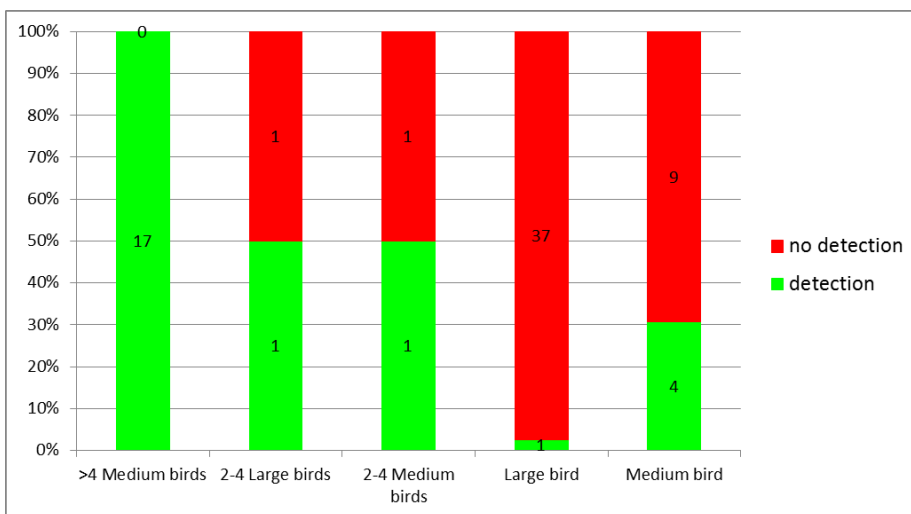




Figuur 58. Telcirkel 7 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 19).

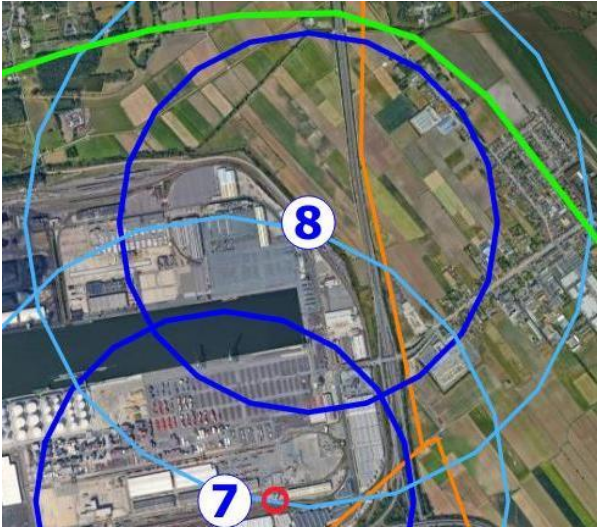


Figuur 59. Telcirkel 7 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 37).

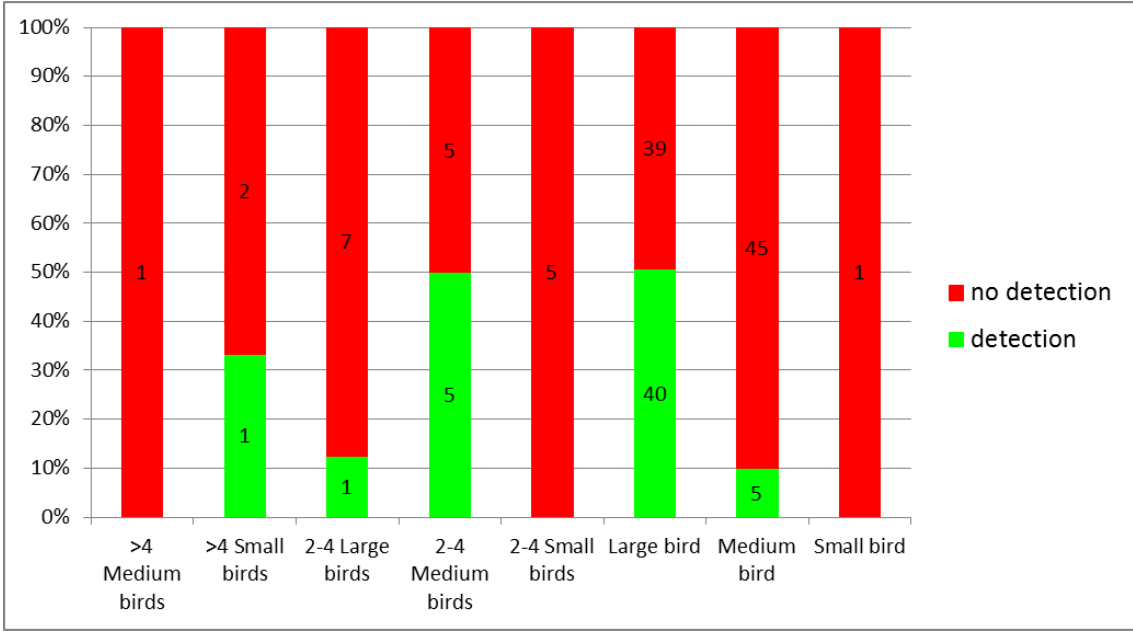


Figuur 60. Telcirkel 7 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 72).

In **telcirkel 8** is de detectiecapaciteit globaal gezien matig tot vrij slecht voor alle gevalideerde vogelclassificaties (figuur 61 en 62). Ongeveer 50% van de individuele grote vogels (als vogelklasse met meeste validaties) worden wel nog gedetecteerd in de hoogteklassen H1-3. We kunnen daaruit verwachten dat groepen van grote tot middelgrote vogels wel nog vrij goed worden gedetecteerd (nu wellicht een vertekend beeld door het kleine aantal validaties daarvoor). De resultaten voor de vogelklassen met het hoogste aantal gevallen zijn sowieso het meest betrouwbaar.



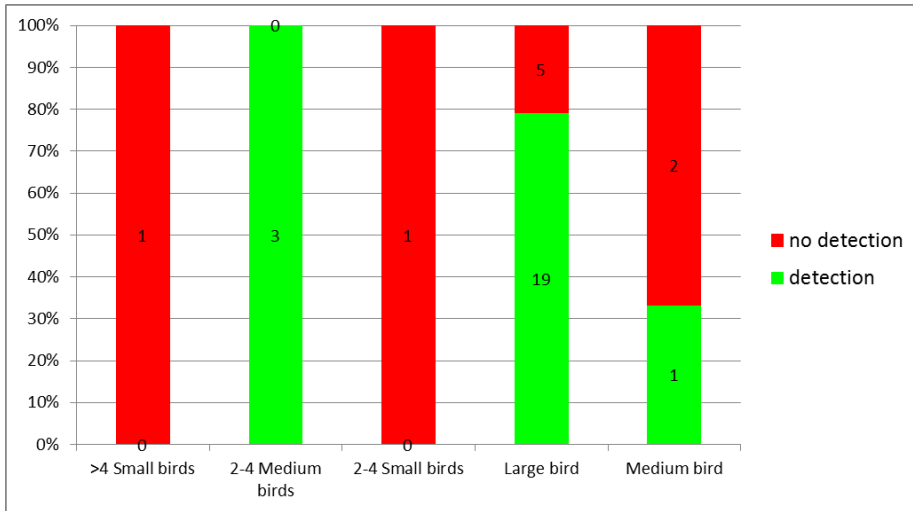
Figuur 61. Situering van telcirkel 8 (zie ook figuur 5).



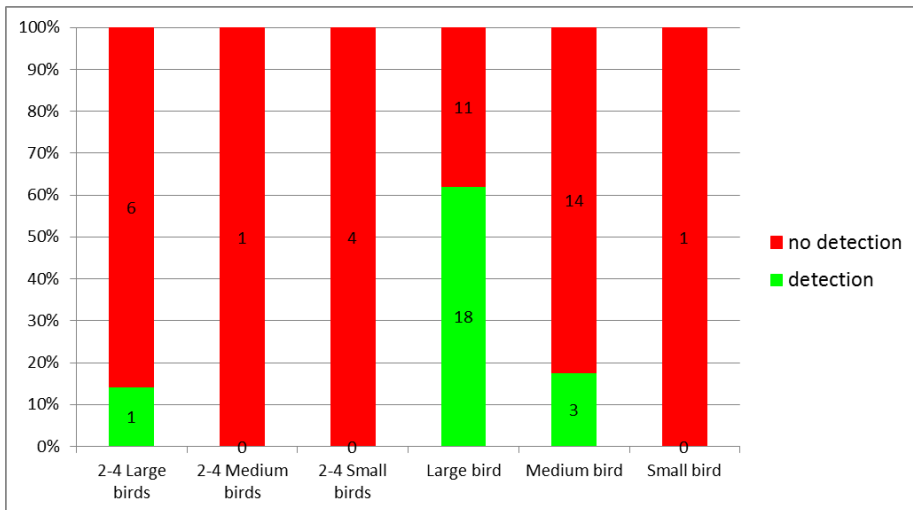
Figuur 62. Telcirkel 8 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklassen H1-3 (n = 157).

Opgesplitst per hoogteklasse (H1-3) zien we dat de detectiecapaciteit voor individuele grote vogels (meest betrouwbaar) toch nog goed is in de hoogteklasse H3, en matig in hoogteklasse H2 (figuren 63-65).

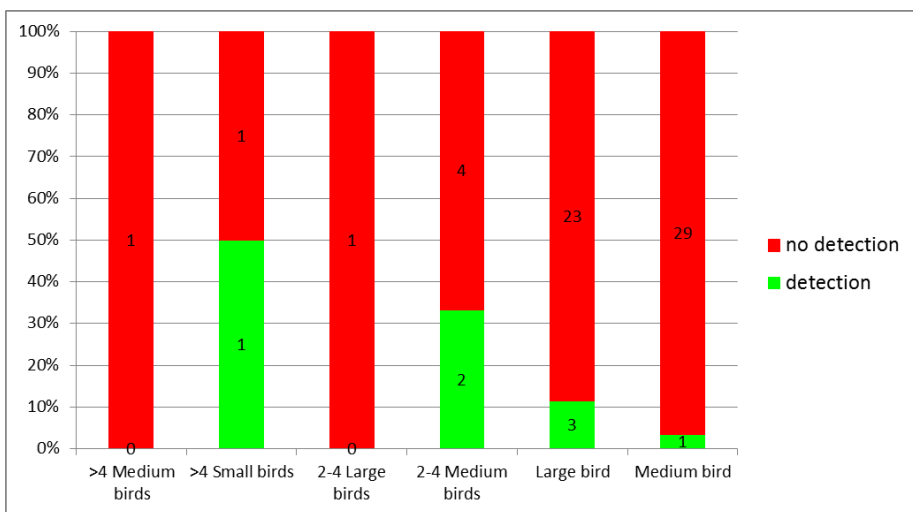




Figuur 63. Telcirkel 8 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H3 (n = 32).



Figuur 64. Telcirkel 8 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H2 (n = 59).



Figuur 65. Telcirkel 8 vogeldetectie capaciteit per vogelklasse, in de hoogteklasse H1 (n = 66).



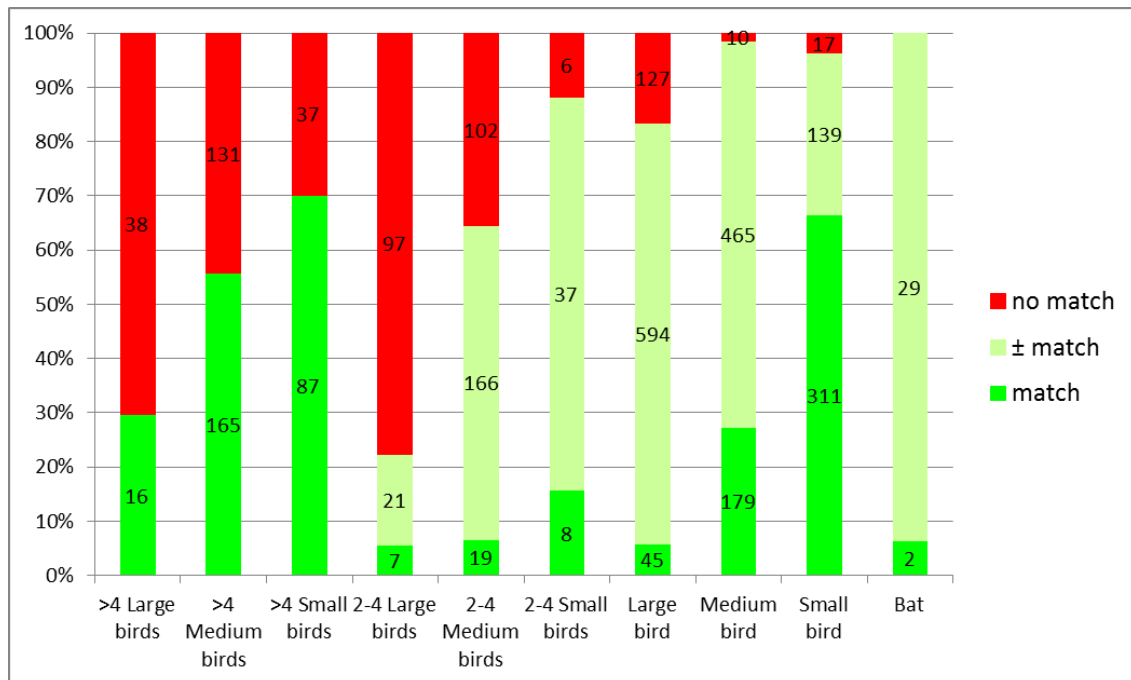
### 5.2.2 Correctheid van automatische classificatie van vogels en vleermuizen

Alle gevalideerde radartracks (uit alle validatiesessies) die op basis van de visuele waarnemingen effectief vogels betroffen, zijn weergegeven in tabel 4 en figuur 66. Hierbij is het resultaat weergegeven van de correctheid van de automatische classificatie van het radarsysteem.

We zien dat de correctheid van de automatische classificatie heel variabel is. Het aandeel 'geen match' bij groepen van vogels (2-4 en >4) is opvallend groot. Hier kan echter ook een waarnemerseffect optreden omdat de waarnemer de validatie op een bepaald moment deed, terwijl de radar de classificatie doet op basis van de eigenschappen van de volledige vogeltrack (zie ook verder in hoofdstuk 10).

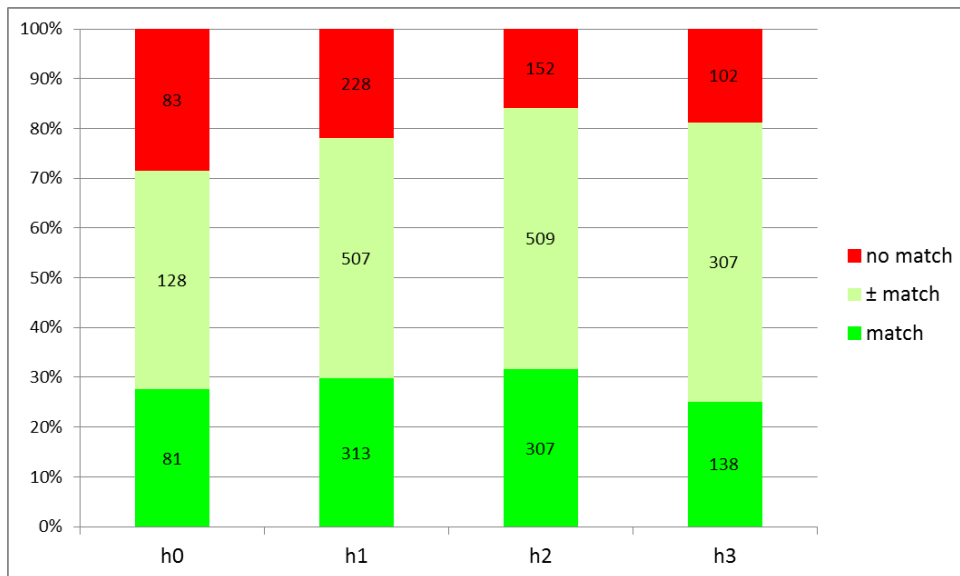
Tabel 4. Correctheid van de automatische classificatie van het radarsysteem.

Gevalideerde classificatie (visueel)	Automatische classificatie (radarsysteem)	match	± match	geen match	Totaal
>4 Large birds	Flock	16		38	54
>4 Medium birds	Flock	165		131	296
>4 Small birds	Flock	87		37	124
2-4 Large birds	Flock	7	21	97	125
2-4 Medium birds	Flock	19	166	102	287
2-4 Small birds	Flock	8	37	6	51
Large bird	Large bird	45	594	127	766
Medium bird	Medium bird	179	465	10	654
Small bird	Small bird	311	139	17	467
Bat	(Small bird)	2	29		31
<b>Eindtotaal vogelvalidaties</b>		<b>839</b>	<b>1451</b>	<b>565</b>	<b>2855</b>



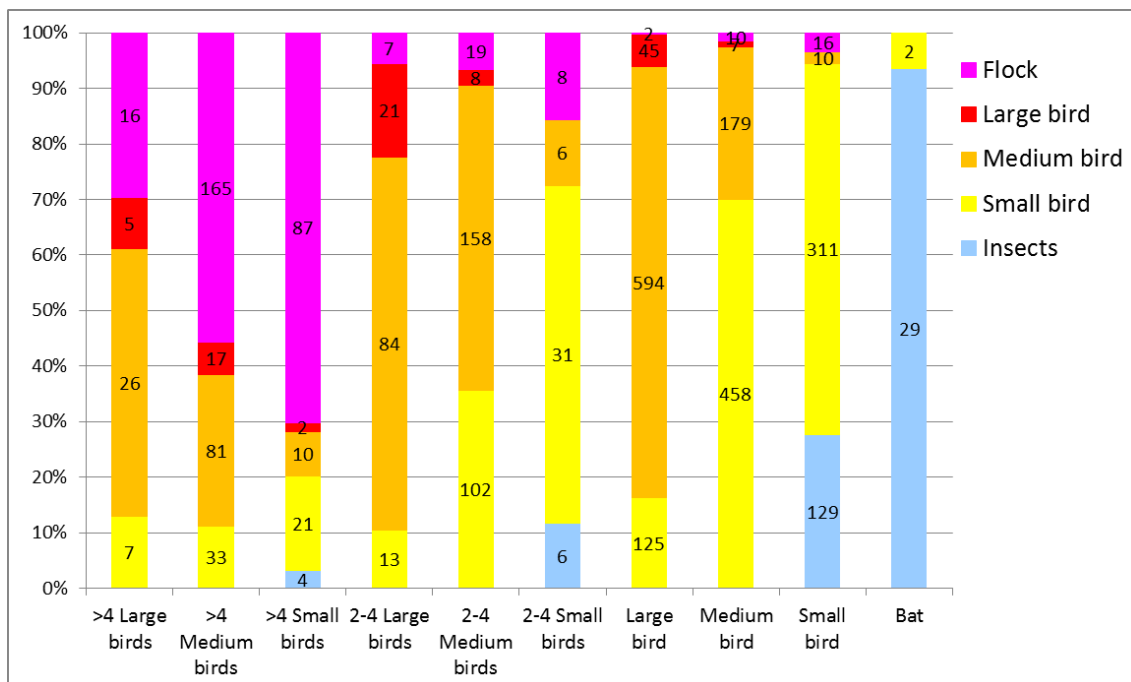
Figuur 66. Correctheid van classificatie per gevalideerde klasse (n = 2855).

De correctheid van de classificatie verschilt weinig tussen de verschillende hoogteklassen, hoewel in de laagste hoogteklasse (H0) het aandeel 'geen match' wat groter is (figuur 67).



Figuur 67. Correctheid van classificatie per hoogteklasse (n = 2855).

De radar classificeert individuele vogels vaak één klasse te klein (figuur 68), wat telkens een score van '± match' geeft (bijv. grote vogel als middelgrote vogel, kleine vogel of vleermuis als insect). De complexiteit en bijgevolg moeilijkheid voor het classificeren van groepen vogels door zowel de radar als waarnemer (zie boven en in hoofdstuk 10) is ook hier duidelijk te zien. Met uitzondering van een deel kleine vogels en vleermuizen die als 'insect' werden geclassificeerd, waren er slechts drie gevalideerde vogels verkeerdelijk in een niet-vogelklasse geplaatst, namelijk als 'fast target', 'slow target' en 'vehicle' (hier niet in figuur opgenomen).

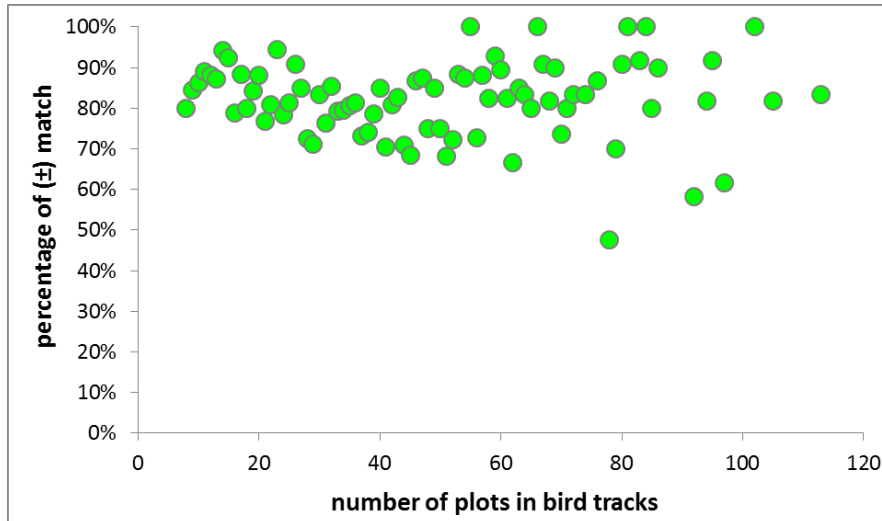


Figuur 68. Vergelijking van automatische classificatie door het radarsysteem (legende rechts) per gevalideerde vogelklasse op alle hoogtes (n = 2855). Kleuren zoals in ROBIN Mobile Viewer.



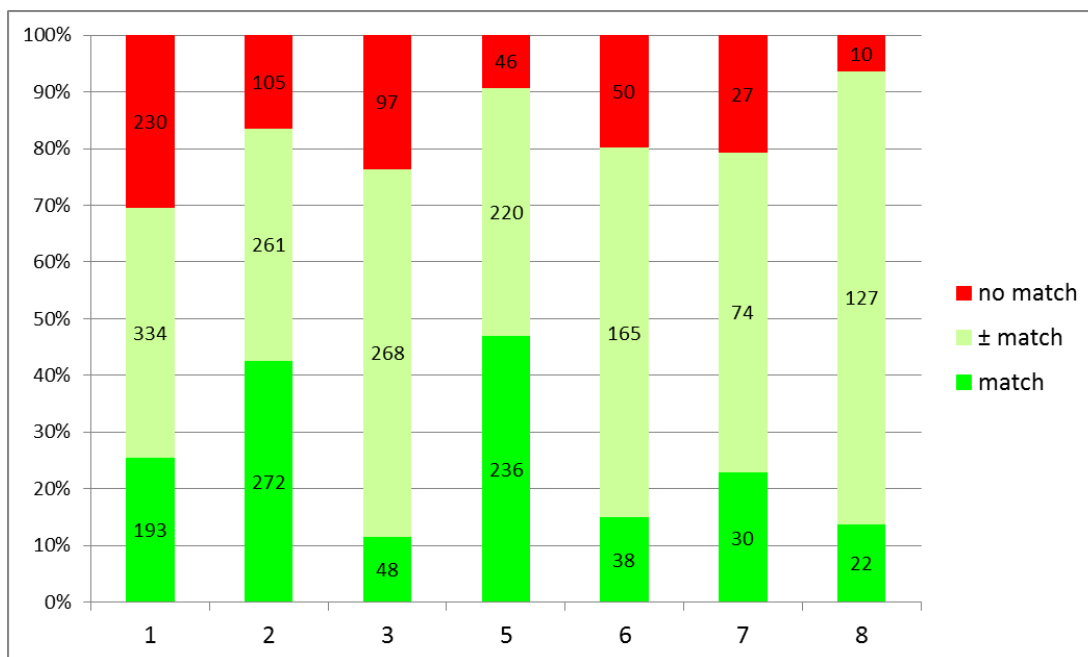


Het aantal radardetectie punten (plots) van een vogeltrack (heeft vaak ook een duidelijke relatie met de lengte van de track) geeft aan hoelang de radar een vogel bleef detecteren. Dit aantal plots lijkt geen belangrijke invloed te hebben op de correctheid van de automatische classificatie (figuur 69), hoewel langere tracks iets meer variatie (zowel vaker onjuist als juist geïdentificeerd) lijken te vertonen dan kortere. Nader onderzoek is aangeraden.

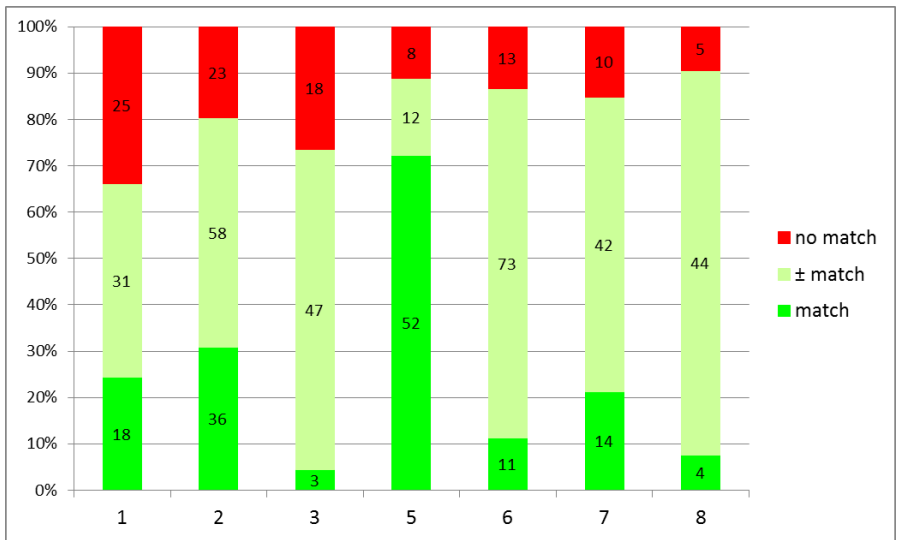


Figuur 69. Percentage van correctheid van classificatie in relatie tot het aantal punten (plots) in de vogeltracks in hoogteklassen H1-3 (min. 10 tracks per plotwaarde).

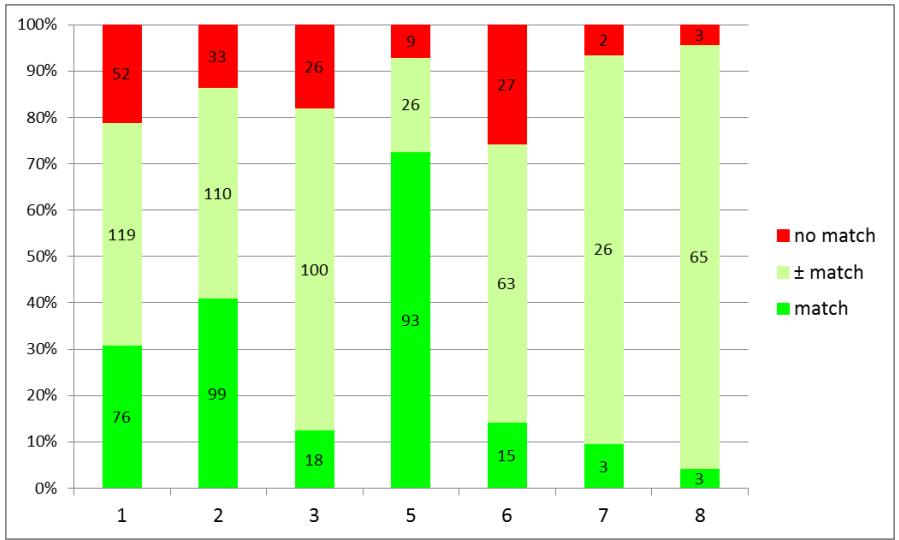
In de figuren 70-73 is de algemene correctheid van de automatische classificatie vergeleken tussen de verschillende telcirkels (ruimtelijke weergave van deze telcirkels, zie in figuur 5). We kunnen hier weinig opvallende verschillen zien, hoewel bijvoorbeeld de correctheid (met volledig correcte match) in telcirkel 5 in de hoogteklassen H2 en H3 duidelijk beter is dan in de andere telcirkels.



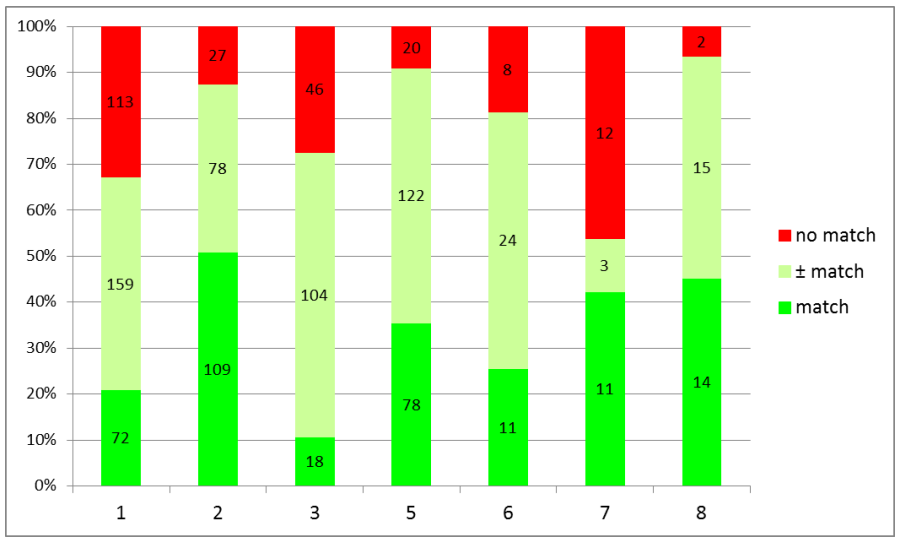
Figuur 70. Algemene correctheid van de automatische classificatie, per telcirkel (n = 2853)



Figuur 71. Algemene correctheid van classificatie, per telcirkel, in hoogteklasse H3 (n = 547).



Figuur 72. Algemene correctheid van classificatie, per telcirkel, in hoogteklasse H2 (n = 968).



Figuur 73. Algemene correctheid van classificatie, per telcirkel, in hoogteklasse H1 (n = 1046).



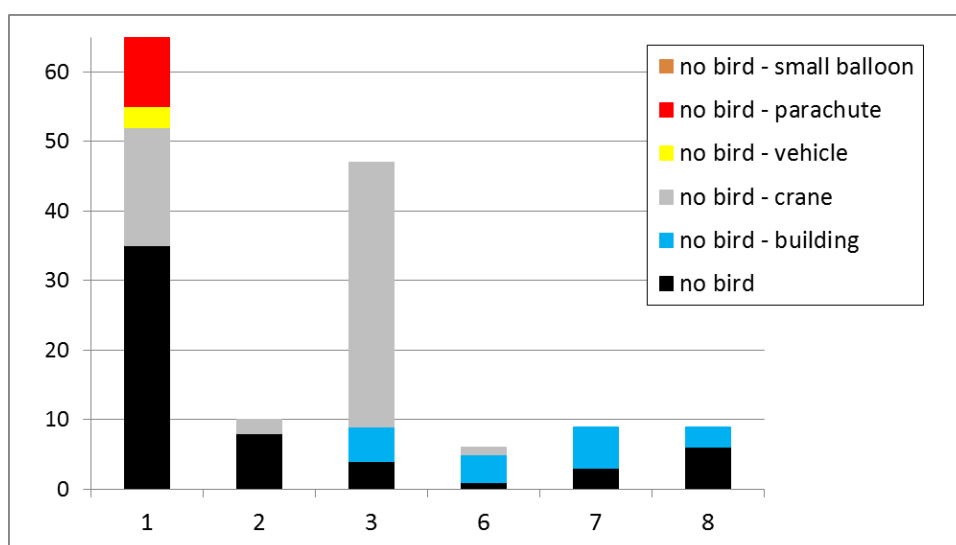
### 5.2.3 Foutieve vogelclassificatie van niet-vogels

In tabel 5 is het aantal gevalideerde tracks weergegeven van niet-vogels die door het radarsysteem foutief als een bepaalde vogelklasse werden geclassificeerd. Deze zijn vooral afkomstig uit de 'radar vs visueel' validatiesessies, maar in kleine mate ook van de speciale nacht- en ochtendsessies. In figuur 74 is weergegeven in welke telcirkel deze werden waargenomen en figuur 75 geeft daarvan een ruimtelijk beeld. Aan bepaalde grote gebouwen en vooral aan de bewegende grote kranen in de noordoostelijke rand van het rangeerstation werden tijdens de validaties regelmatig valse vogeltracks gezien. Deze werden op bepaalde momenten (tijdens de radar vs. visueel sessies) gevalideerd, vooral op momenten wanneer er even geen andere tracks te zien waren in de rest van de telcirkel, dus zeker niet telkens als deze valse tracks door de kranen verschenen op het radarscherm. Enkele details zijn weergegeven in figuur 76. Tijdens 2 korte momenten buiten de normale validatiesessies op 25 en 26 november, werden in combinatie met de beelden op buienradar.be een reeks tracks gevalideerd die duidelijk door buien werden veroorzaakt en vaak als vogels werden geclassificeerd door de radar. Dit fenomeen deed zich (op dat moment) enkel voor dichtbij de locatie van de radar zelf, buiten het aandachtsgebied binnen de haven en op een moment toen er geen vogelvalidaties werden uitgevoerd, maar ter info zijn ze wel in tabel 5 en figuur 75-76 toegevoegd (zie ook verdere bespreking in hoofdstuk 10).

Tabel 5. Foutieve automatische classificaties als vogels.

Gevalideerde classificatie (visueel)	foutieve automatische classificaties als vogel
no bird	57
no bird - building	18
no bird - crane	58
no bird - parachute	10
no bird - rain <sup>1</sup>	192 <sup>1</sup>
no bird - small balloon	1
no bird - vehicle	3
<b>Eindtotaal niet-vogel validaties</b>	<b>339</b>
<b>Eindtotaal excl. regen</b>	<b>147</b>

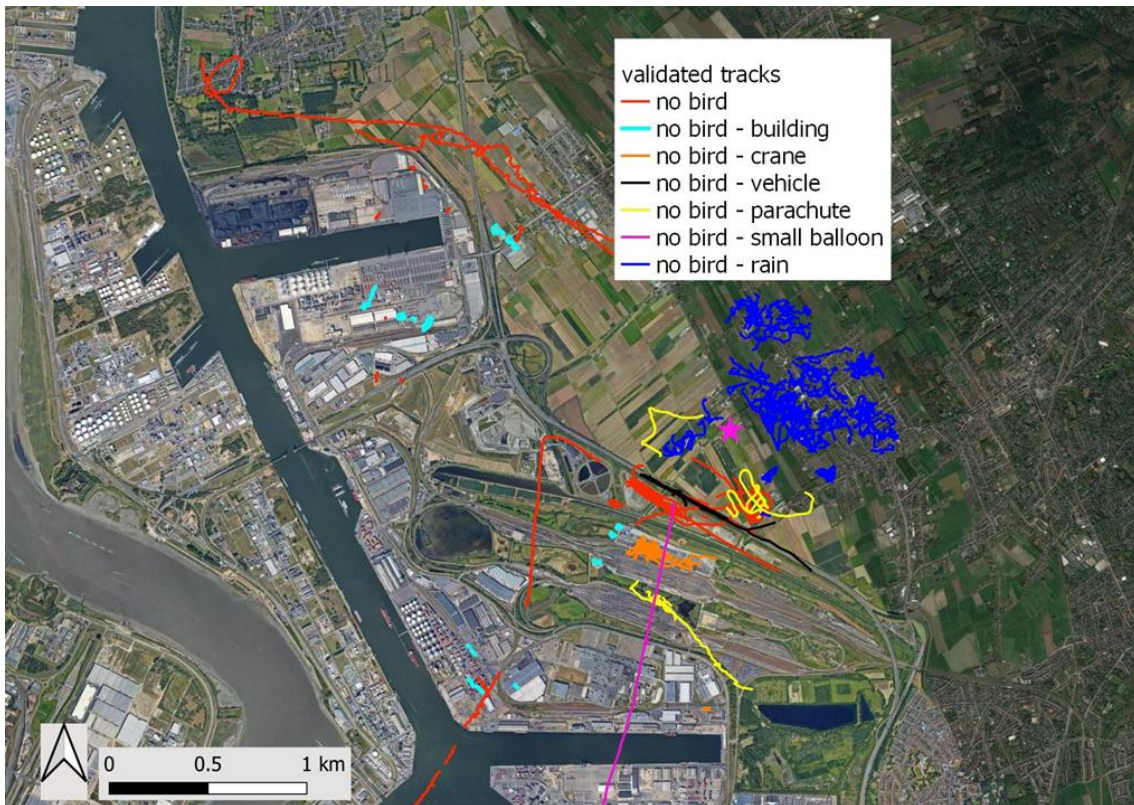
<sup>1</sup> Regen werd op 2 korte momenten ingevoerd, buiten de normale validatiesessies.



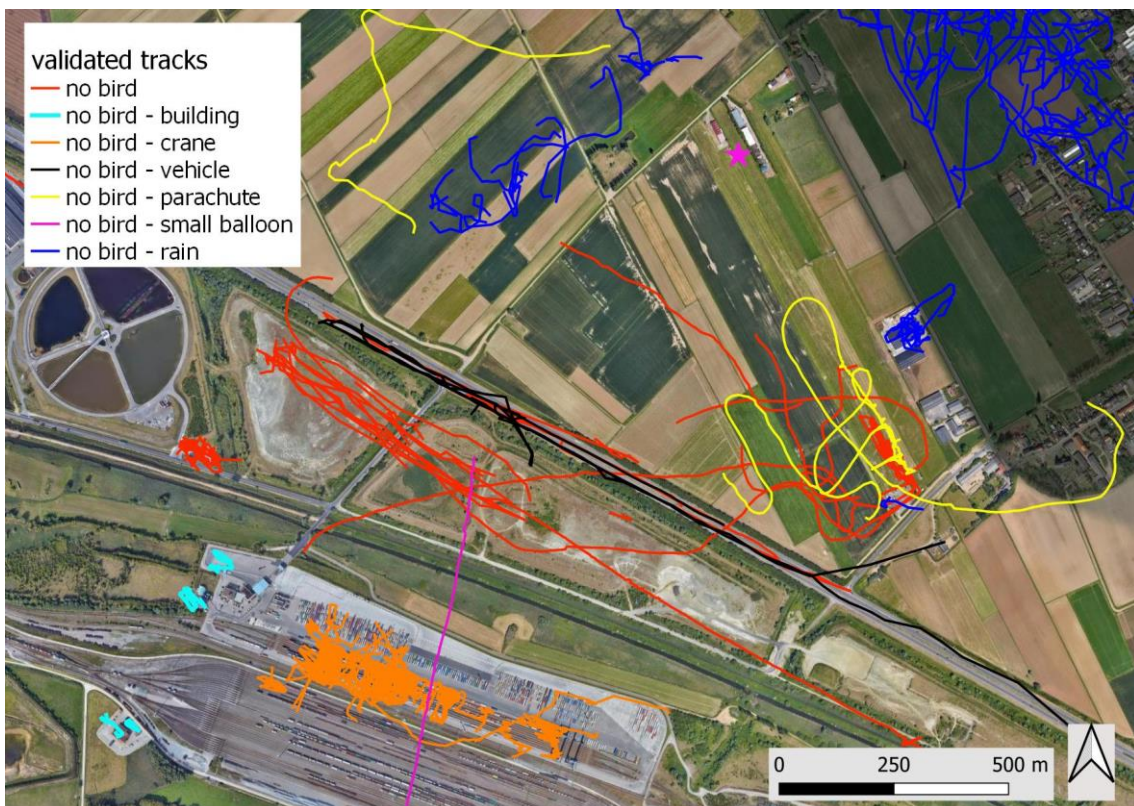
Figuur 74. Aantal foutieve vogelclassificaties per telcirkel (excl. regen dat buiten de telcirkels was).







Figuur 75. Foutieve vogelclassificaties. De rode lijn (no bird) die centraal op de figuur afbuigt naar zuid, was mogelijk een drone.



Figuur 76. Foutieve vogelclassificaties. De geclusterde rode tracks centraal links in beeld bleken nadien wellicht afkomstig van de hoogspanningspyloon op de deze plek.



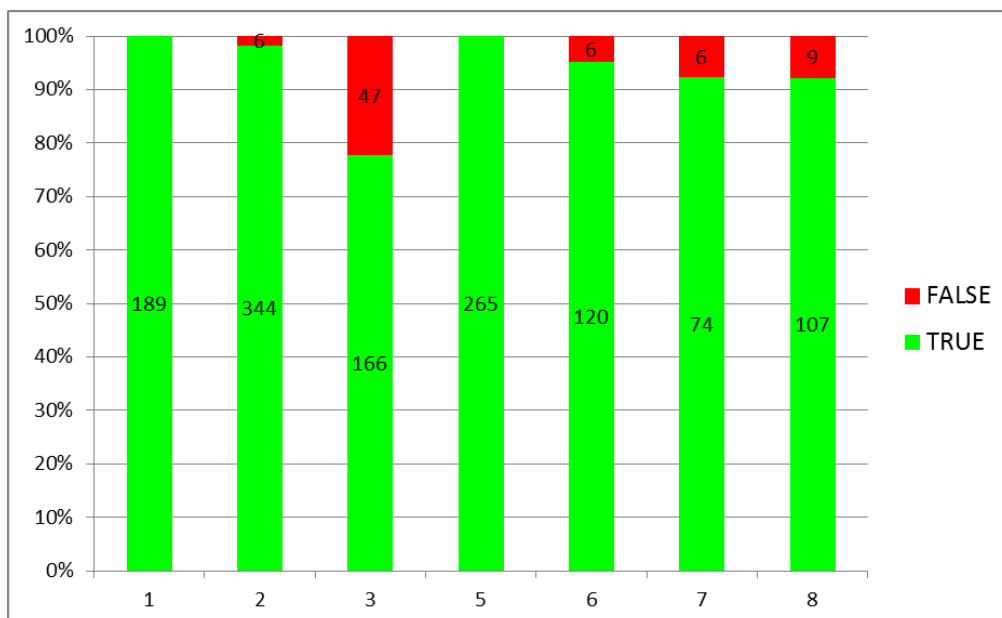
Figuur 77 geeft een beeld van de tracks die tijdens de standaard **radar vs. visueel** validatiesessies door de radar correct als een bepaald type vogel werden geïdentificeerd (TRUE) en deze die geen vogel bleken te zijn (FALSE). Het geeft een voorlopig best beschikbare beeld over de betrouwbaarheid van de vogelclassificatie van de radar op de betreffende locaties. Globaal is deze betrouwbaar goed. De lagere betrouwbaarheidswaarde in vooral telcirkel 3 is het gevolg van de grote bewegende kranen in het rangeerstation, die regelmatig valse vogeltracks (vooral als flock en large bird) genereren, en de overige zijn vooral van enkele valse tracks door gebouwen.

Hoewel het resultaat in figuur 68 een globaal beeld geeft van de verhouding in het aantal correcte en valse vogeltracks in de periodes van de 'radar vs. visueel' validatiesessies, moet hier opgemerkt worden dat in het bijzonder bij telcirkel 1 een waarnemerseffect is opgetreden. De regelmatig optredende valse vogeltracks door de bewegende kranen in het rangeerstation werden vaak genegeerd omdat deze zo duidelijk daarvan afkomstig waren. Er kon ook niet altijd op tijd een validatie worden ingevoerd bij deze soms zeer kort optredende valse vogeltracks. Hoewel een reeks van deze valse vogeltracks wel werden gevalideerd, was dit in geval van telcirkel 1 steeds tijdens de speciale sessies (met code 'n' of 'o') en niet tijdens de 'radar vs. visueel' sessies waardoor deze niet te zien zijn in figuur 77.

De belangrijkste conclusie uit de resultaten van de valse vogeltracks, is echter dat de valse vogeltracks tijdens de validaties vooral beperkt waren tot specifieke punten en kleine zones ter hoogte van enkele grote gebouwen en de bewegende kranen (zie figuren 75 en 76).

In hoofdstuk 6 is in een meer diepgaande eerste verkenning van de data o.a. getracht om bepaalde parameters te identificeren met als doel om later de valse vogeltracks in de database op automatische wijze zo goed mogelijk te verwijderen.

In hoofdstuk 7 gaan we ook wat dieper in op valse vogeltracks door windturbines en hoogspanningslijnen, op basis van een visuele analyse van alle tracks in de database.



Figuur 77. Correcte (vogel = TRUE) en foutieve (geen vogel = FALSE) vogelclassificaties per telcirkel tijdens de 'radar vs. visueel' validatiesessies (n = 1339).



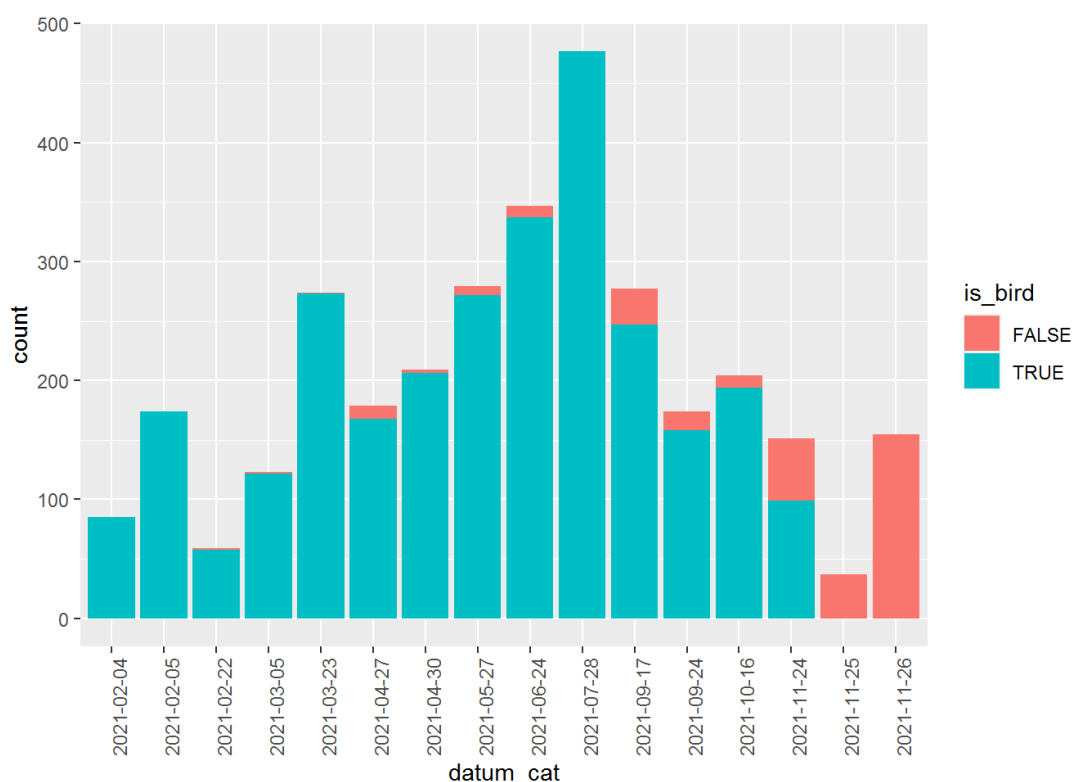




Tabel 6. Gevalideerde radartracks met onderscheid tussen echte vogeltracks (bird) en valse vogeltracks (no-bird).

Classificationname	no_bird	bird
Aircraft	9	0
Fast Target	3	1
Flock	51*	333
Insects	0	168
Large bird	213*	106
Medium bird	36*	1149
Slow Target	1	1
Small bird	13*	1103
Unknown	1	0
Vehicle	6	1
NA	1	8

\* Tijdens 2 speciale korte validatiesessies werden enkel valse vogeltracks door regenbuien genoteerd. Deze vallen buiten de normale validatiesessies (visueel vs. radar en omgekeerd), zie ook deel 5.2.3.

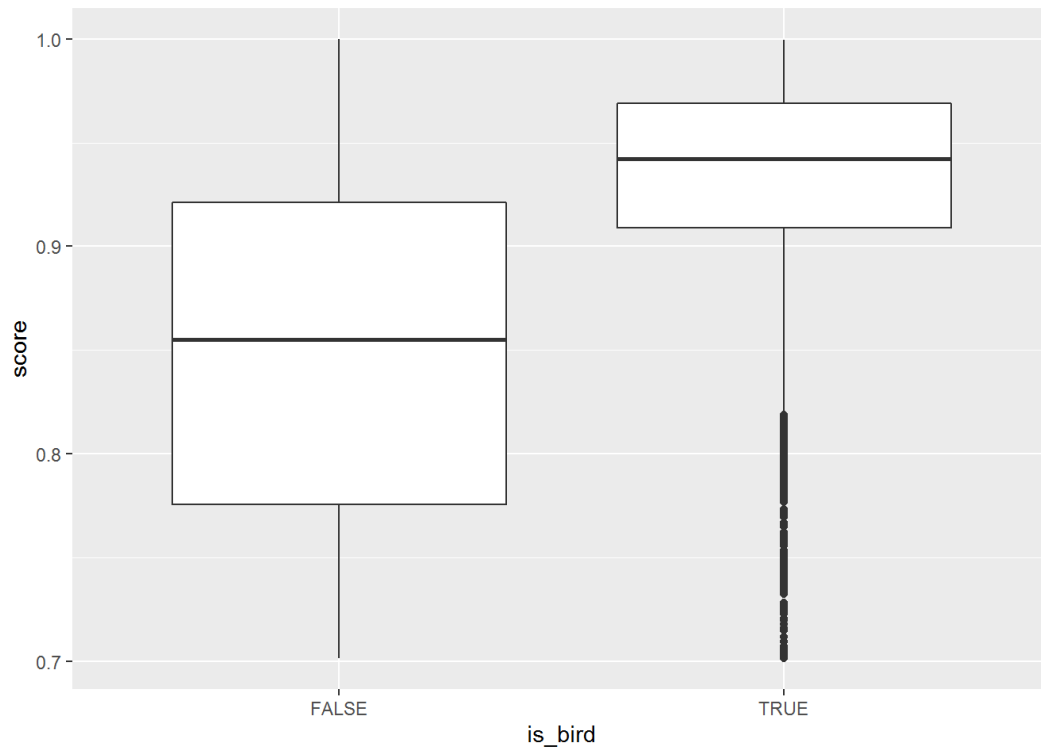


Figuur 78. Aantal correcte (true) en foutieve (false) vogelclassificaties in 2021.

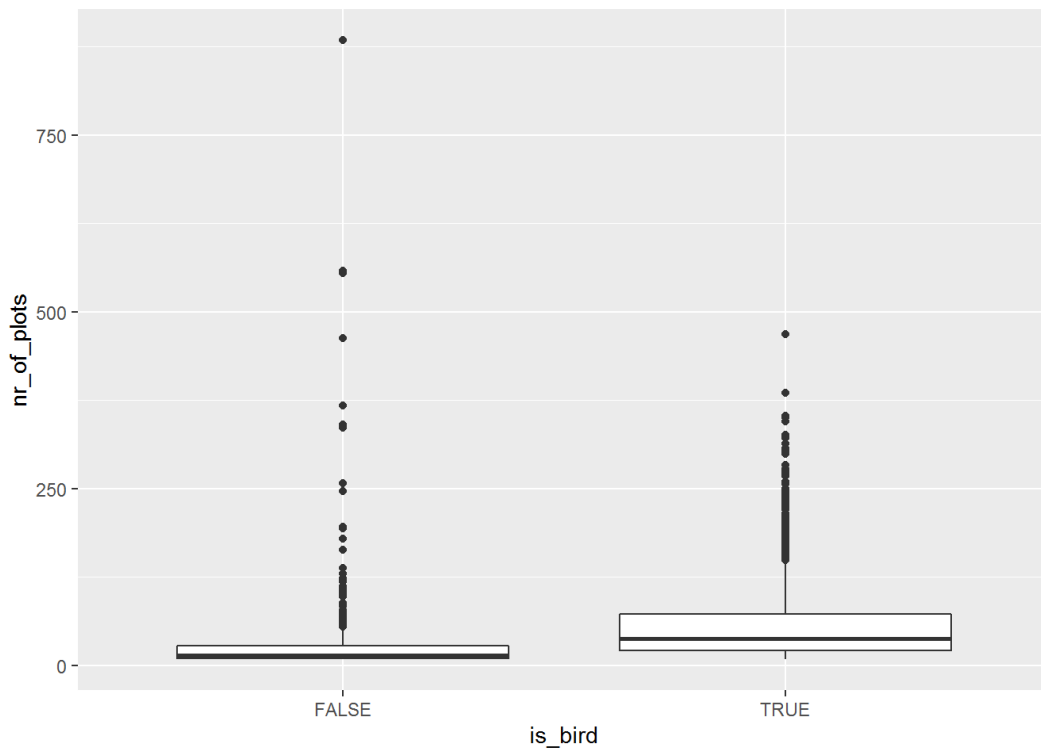
Algemeen zijn er relatief weinig niet-vogels gezien tijdens de standaard validaties (excl. de regenbuien tracks op 25-26 november, zie ook in deel 5.2.3). De categorie van niet-vogels bestaat uit een diverse mix van zaken. Dat kan het zoeken naar patronen die vogels van niet-vogels onderscheiden bemoeilijken. Over het algemeen lijkt de radar wel behoorlijk accuraat te zijn. Mogelijk is het een optie om ook tracks met classificatie 'unknown' en de andere categorieën gericht te valideren, hoewel dit voor die andere categorieën weinig zinvol lijkt om tracks te gaan valideren die de radar sowieso al als niet-vogel geïdentificeerd heeft.





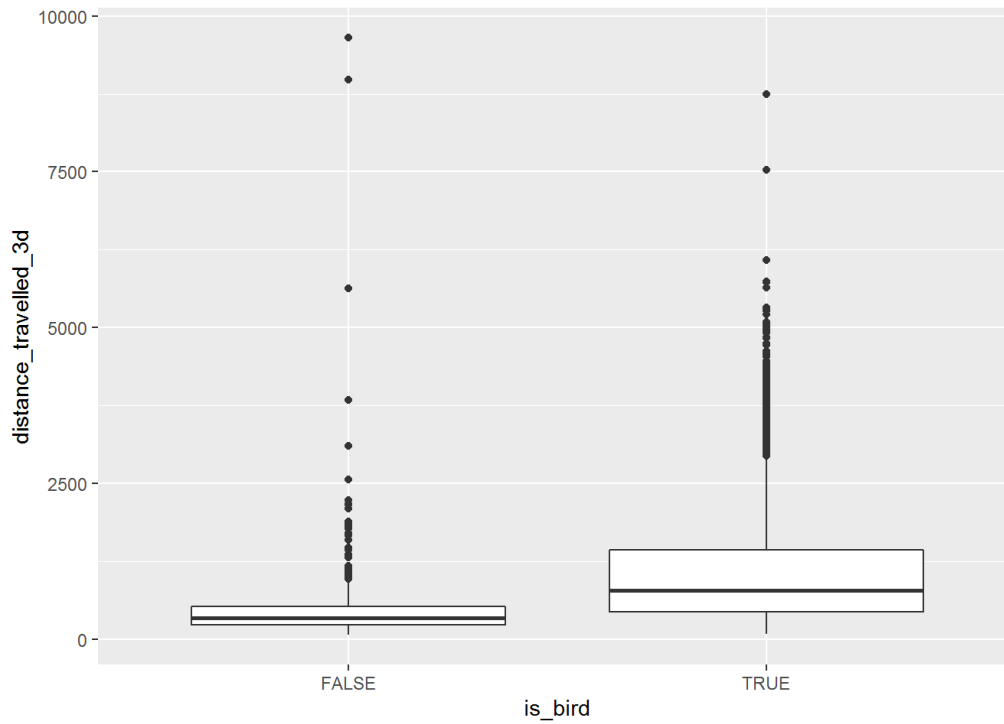


Figuur 80. Boxplot van de relatie tussen nauwkeurigheid van de 'real time' radar trackvoorspelling van punt tot punt in de track (score) en valse of correcte vogeltracks.

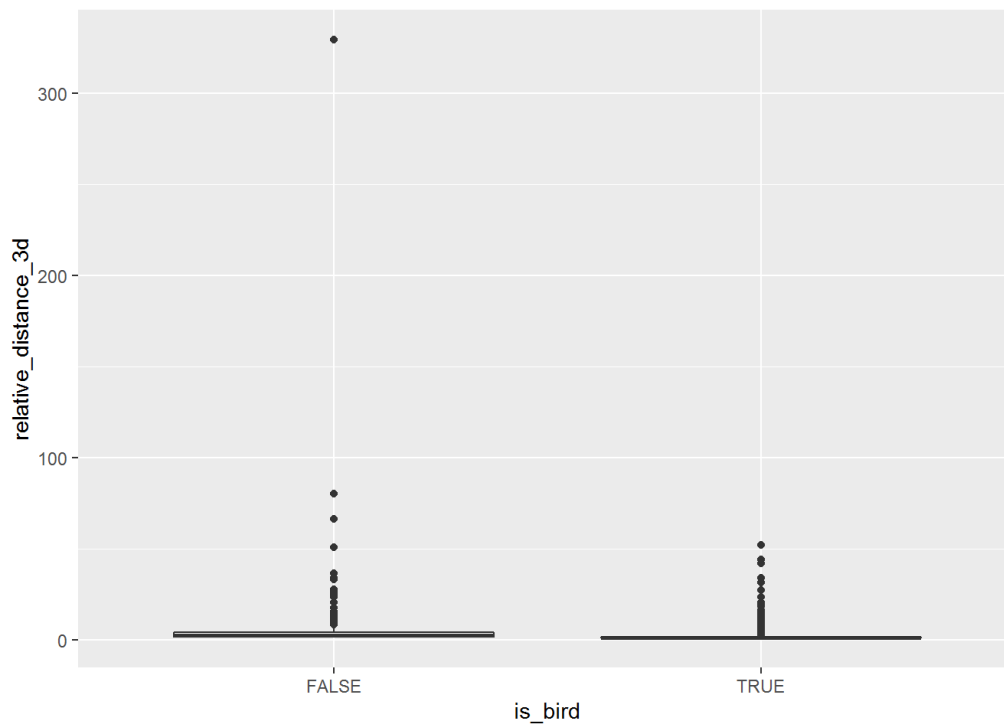


Figuur 81. Boxplot van de relatie tussen aantal plots per track (nr of plots) en valse of correcte vogeltracks.



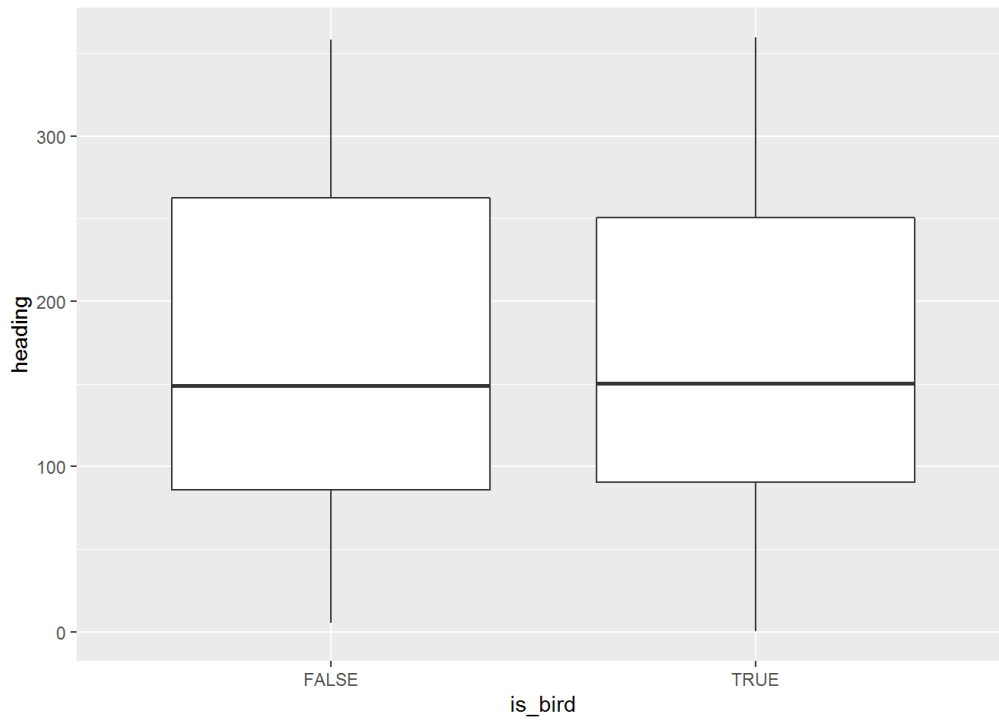


Figuur 82. Boxplot van de relatie tussen afgelegde afstand (distance travelled 3D) en valse of correcte vogeltracks.

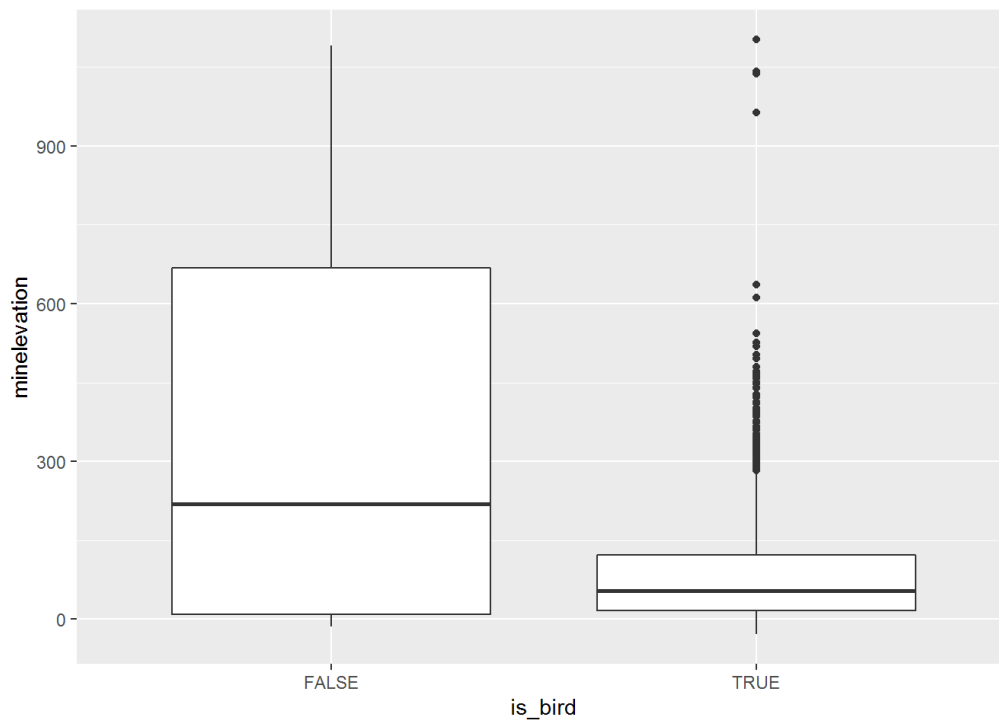


Figuur 83. Boxplot van de relatie tussen relatieve afstand 3D (relative distance 3D) en valse of correcte vogeltracks.



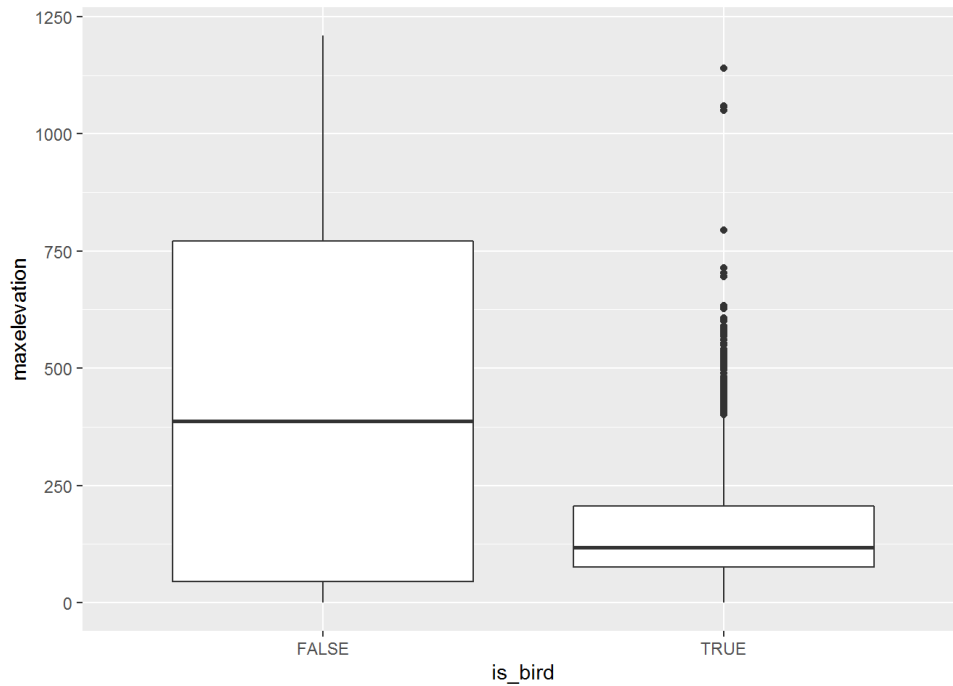


Figuur 84. Boxplot van de relatie tussen richting (heading) en valse of correcte vogeltracks.



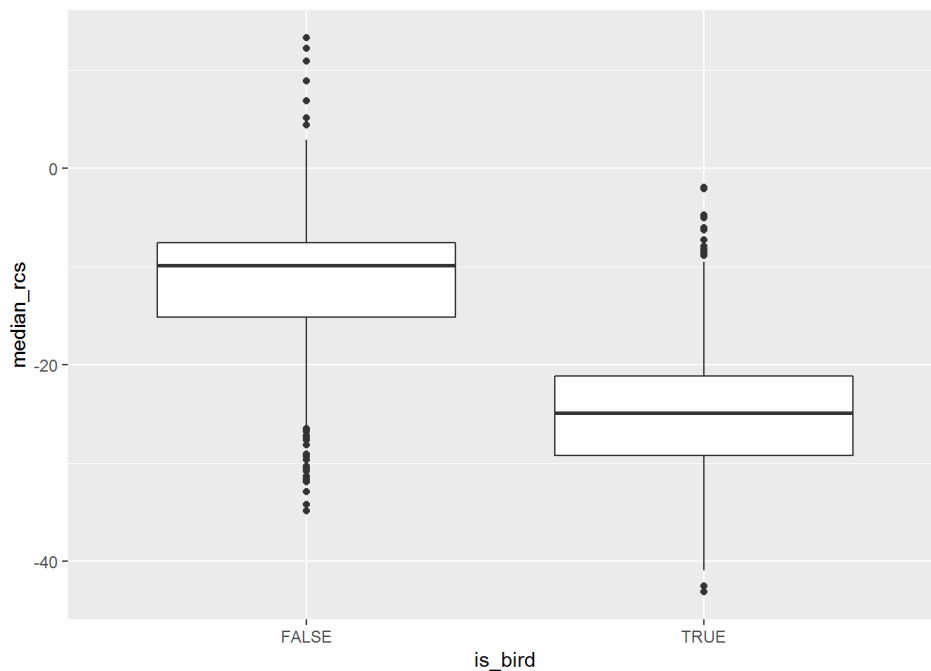
Figuur 85. Boxplot van de relatie tussen minimumhoogte (minelevation) en valse of correcte vogeltracks.





Figuur 86. Boxplot van de relatie tussen maximumhoogte (maxelevation) en valse of correcte vogeltracks.

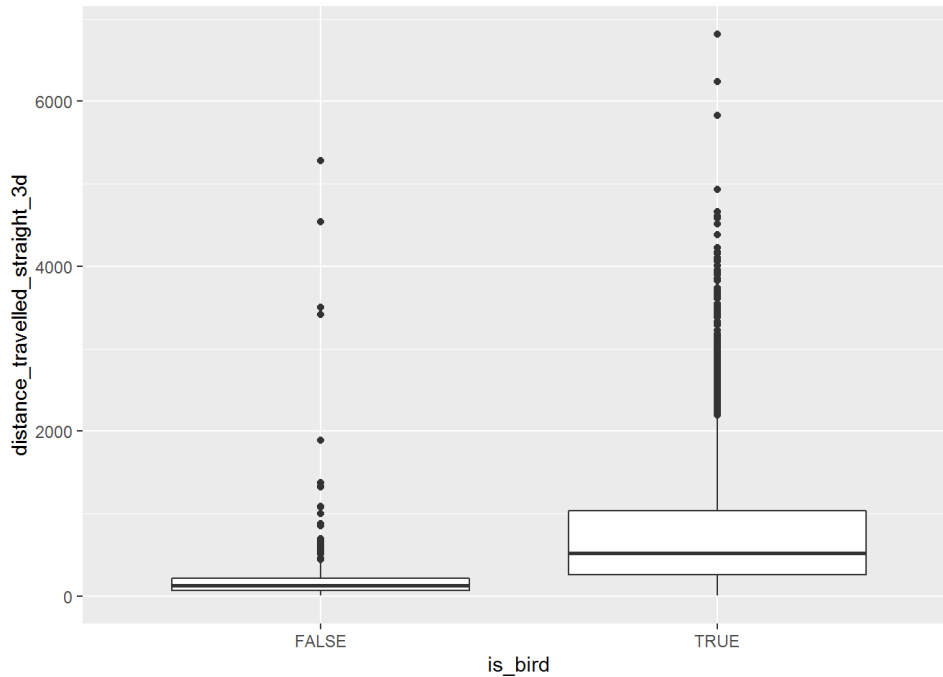
De 'radar cross section' is een maat voor de mate waarin een object de radiogolven reflecteert in dezelfde richting als waar zij vandaan komen. Deze parameter lijkt op het eerste zicht te kunnen helpen bij het onderscheid tussen correcte en foutieve vogelclassificaties (figuur 87). Het gemiddelde of de mediaan daarvan blijft toch lastig want dan moet er al een redelijk goede scheiding tussen de groepen zijn (en zo weinig mogelijk overlap, want alles binnen de overlap zijn twijfelgevallen).



Figuur 87. Boxplot van de relatie tussen radar cross section (rcs) en valse of correcte vogeltracks.

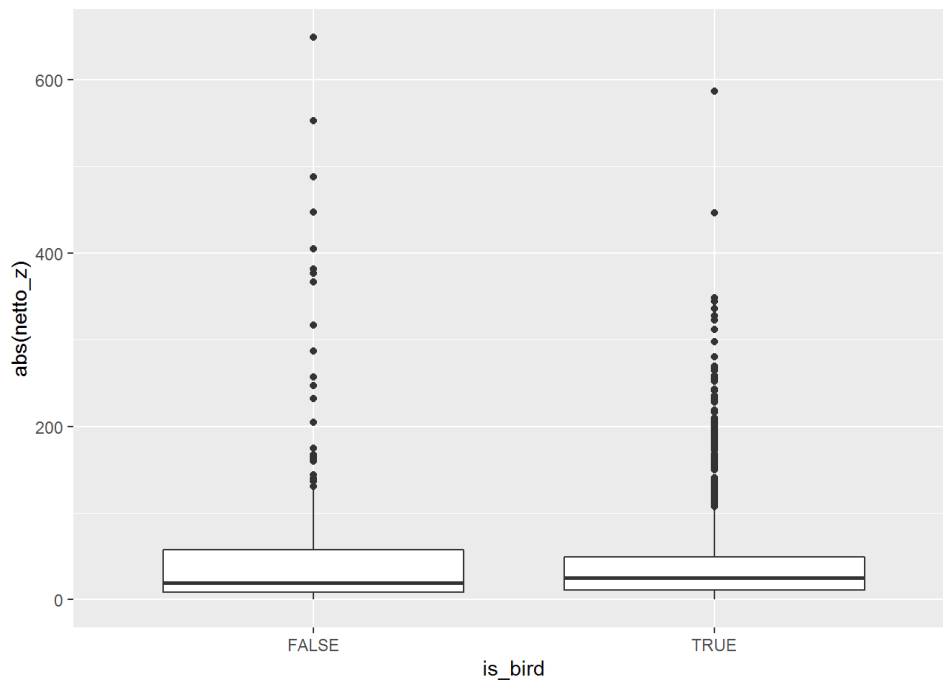


De variabele van de totale afgelegde afstand in een rechte lijn tussen het eerste en laatste punt van de track (distance\_travelled\_straight\_3D) kan mogelijk helpen bij het onderscheid tussen correcte en foutieve vogelclassificaties (Figuur 88).



Figuur 88. Boxplot van de relatie tussen distance travelled straight 3D en valse of correcte vogeltracks.

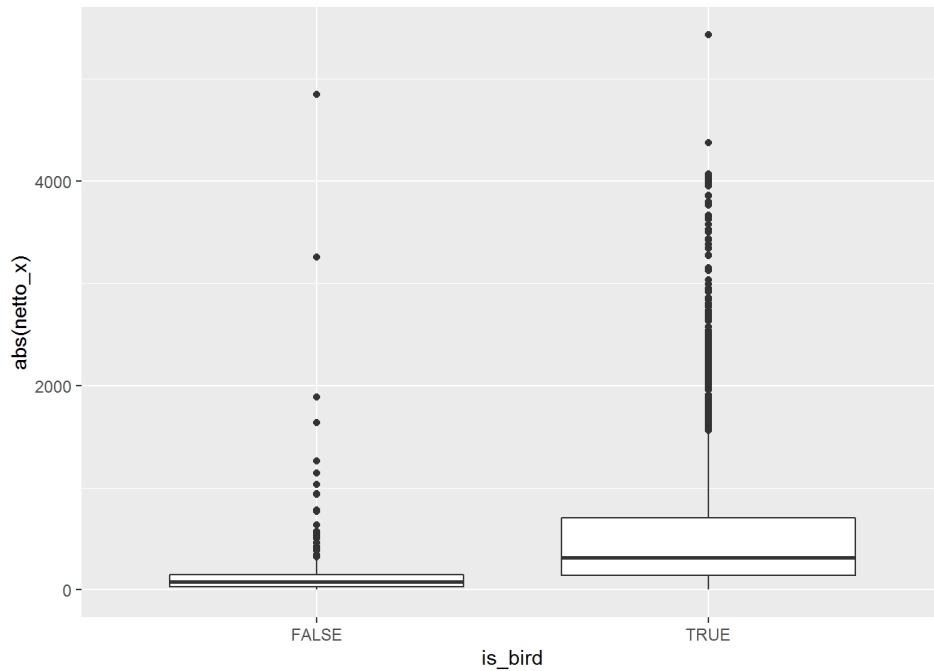
De 'abs (netto\_Z)' toont het verschil tussen eindpunt en startpunt van een track, maar dan enkel in Z-richting (hoogte). Deze geeft geen duidelijk verschil (figuur 89).



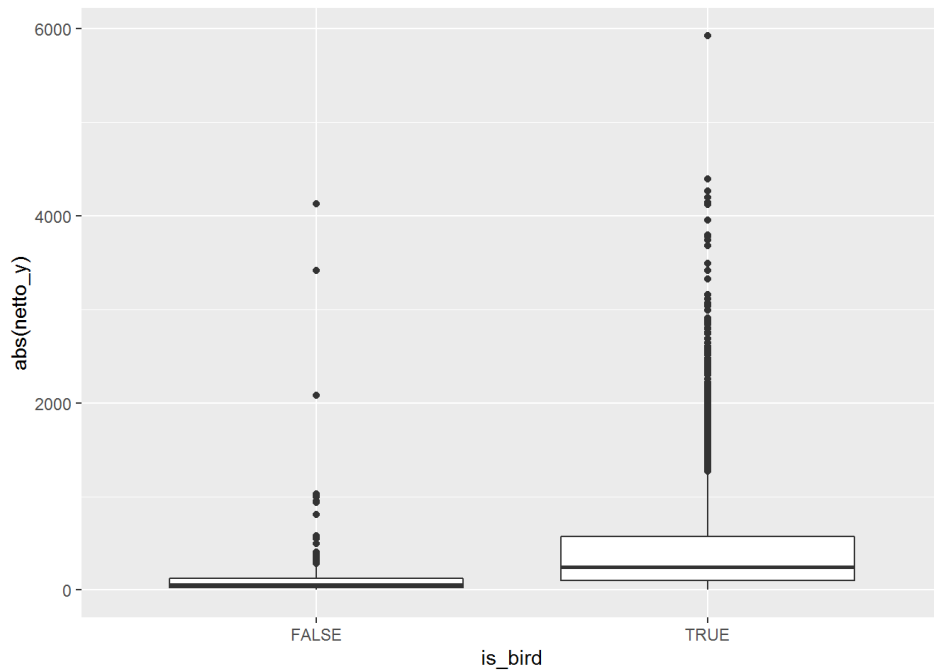
Figuur 89. Boxplot van de relatie tussen abs(netto Z) en valse of correcte vogeltracks.



Het verschil tussen eindpunt en startpunt van een track, maar dan enkel in X- en Y-richting (lat en long, of omgekeerd) toont wel een mogelijk verschil tussen echte en valse vogeltracks (figuren 90-91). Maar dit is heel gerelateerd aan `distance_travelled_straight` (zie boven) die een nog iets duidelijker verschil toont. In een verdere analyse zal deze zogenaamde collineariteit beter statistisch worden onderzocht en worden ofwel dergelijke gelijkaardige variabelen niet allebei gebruikt ofwel zal een gezamenlijke factor worden berekend met bijvoorbeeld een PCA-analyse.



Figuur 90. Boxplot van de relatie tussen `abs(netto X)` en valse of correcte vogeltracks.

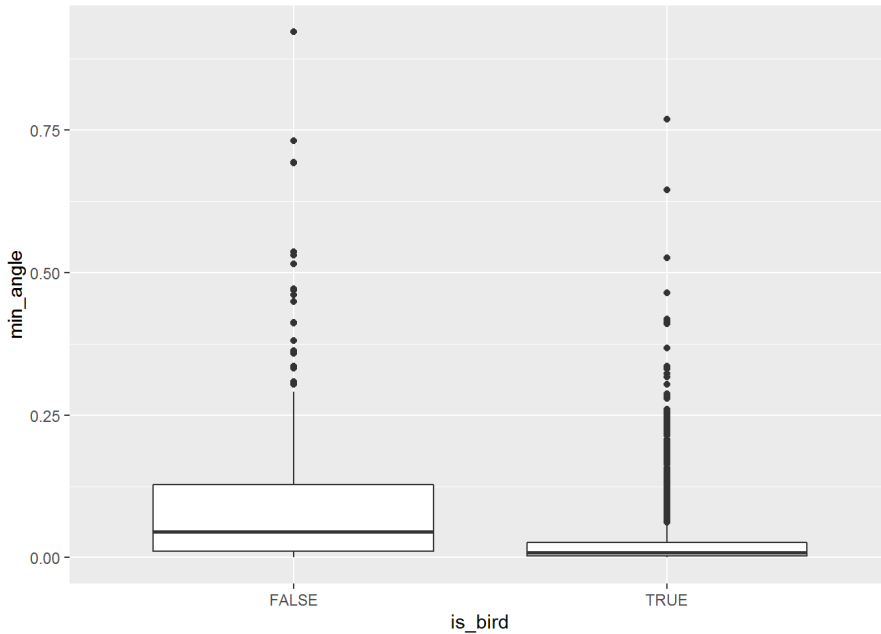


Figuur 91. Boxplot van de relatie tussen `abs(netto Y)` en valse of correcte vogeltracks.

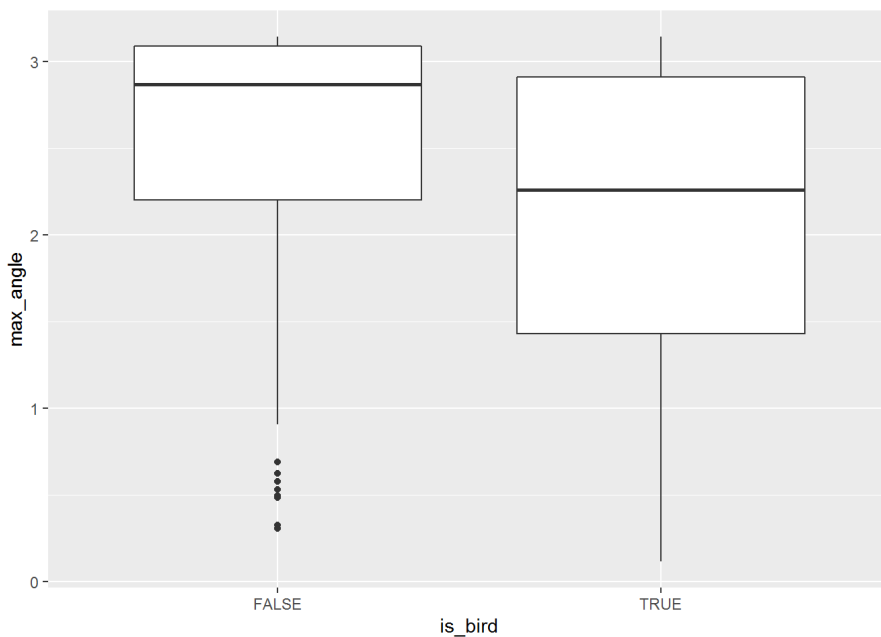


De richting van de track (Heading) is niet bruikbaar omdat dit enkel het verschil in hoek tussen het begin en het einde van de track betreft (zie boven). Als alle hoeken of verschillen in richting bekeken worden, biedt dit echter misschien meer mogelijkheden. Onderstaande grafieken geven die extra gegevens weer. De basis voor deze gegevens zijn de hoeken op de punten van de tracks die berekend zijn als  $\text{abs}(\text{hoekradialen} - \pi)$ , waarbij de waarde 0 is als het object rechtdoor vliegt, 3.14 als het object omkeert, en 1.57 als het een hoek van 90° maakt.

Per track is de som, min, max, som en gemiddelde van deze hoeken genomen. Voor minimum, maximum en som (met afgelegde rechte afstand) van deze hoeken (min\_angle, max\_angle, sum\_angles (distance\_travelled\_straight\_3D)) is er te weinig verschil (figuren 92-94).



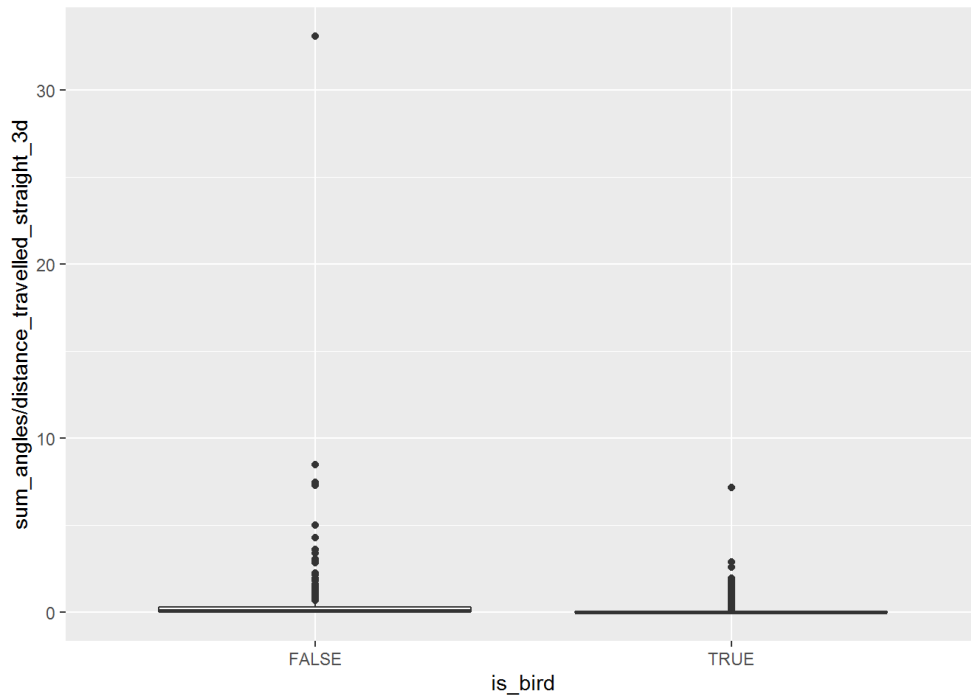
Figuur 92. Boxplot van de relatie tussen minimum hoek (min angle) en valse of correcte vogeltracks.



Figuur 93. Boxplot van de relatie tussen maximum hoek (max angle) en valse of correcte vogeltracks.

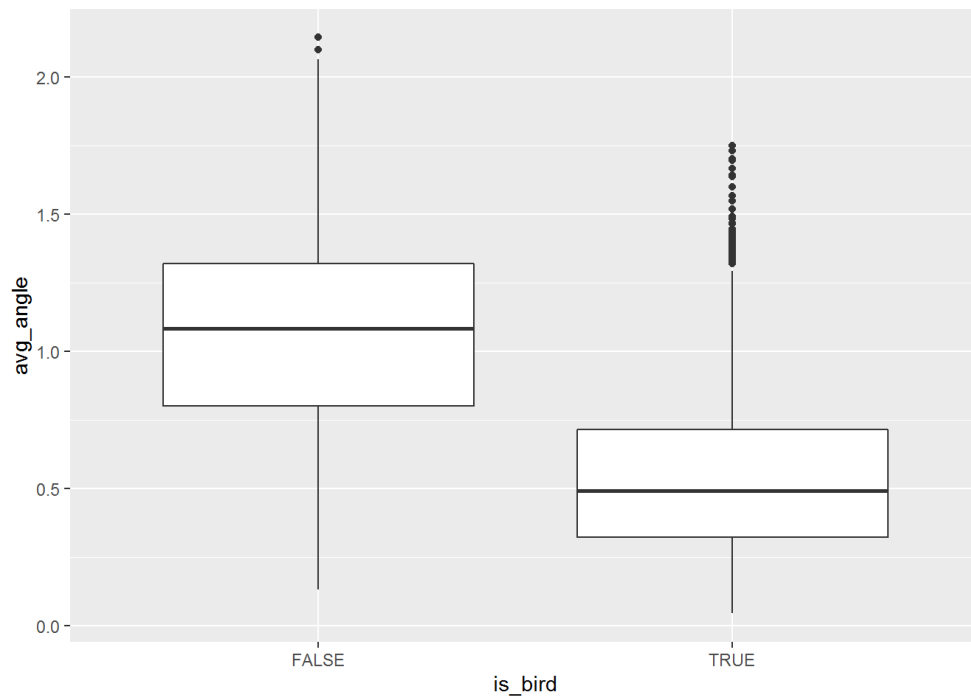






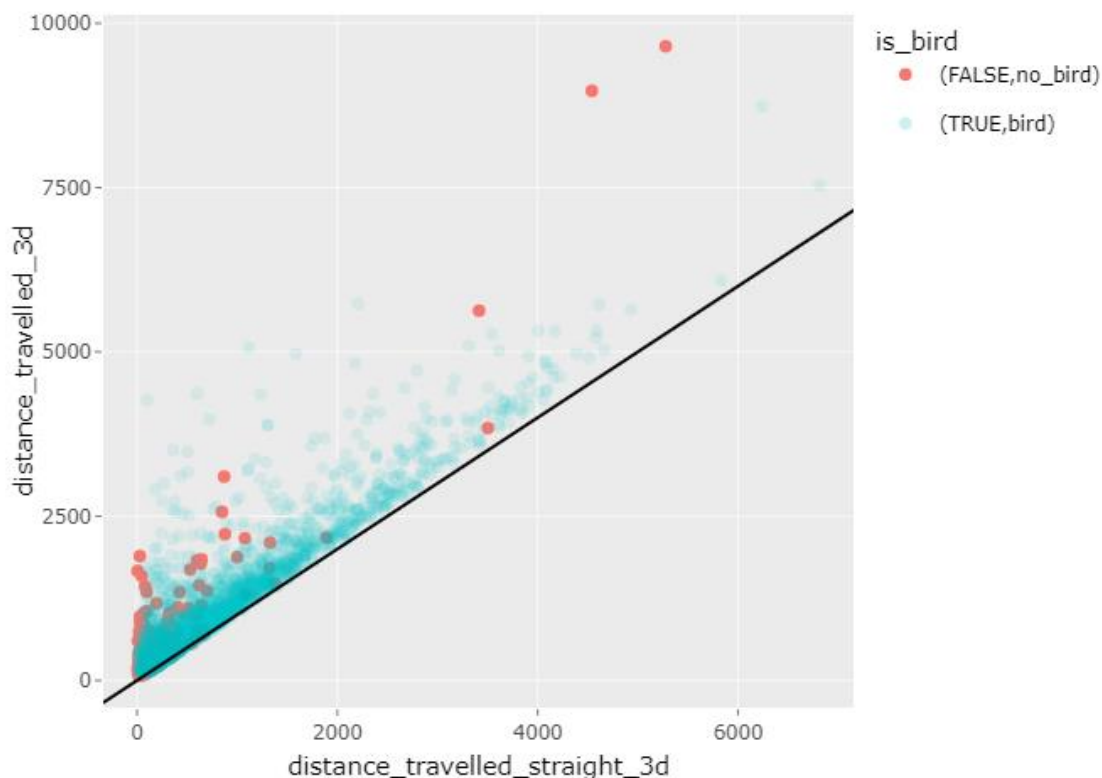
Figuur 94. Boxplot van de relatie tussen som (met recht afgelegde afstand) (sum angles / distance travelled straight 3D) en valse of correcte vogeltracks.

Voor het gemiddelde van deze hoeken is er wel enig verschil dat mogelijk kan helpen bij een onderscheid tussen valse en correcte vogeltracks (figuur 95).



Figuur 95. Boxplot van de relatie tussen gemiddelde hoek (avg\_angle) en valse of correcte vogeltracks.

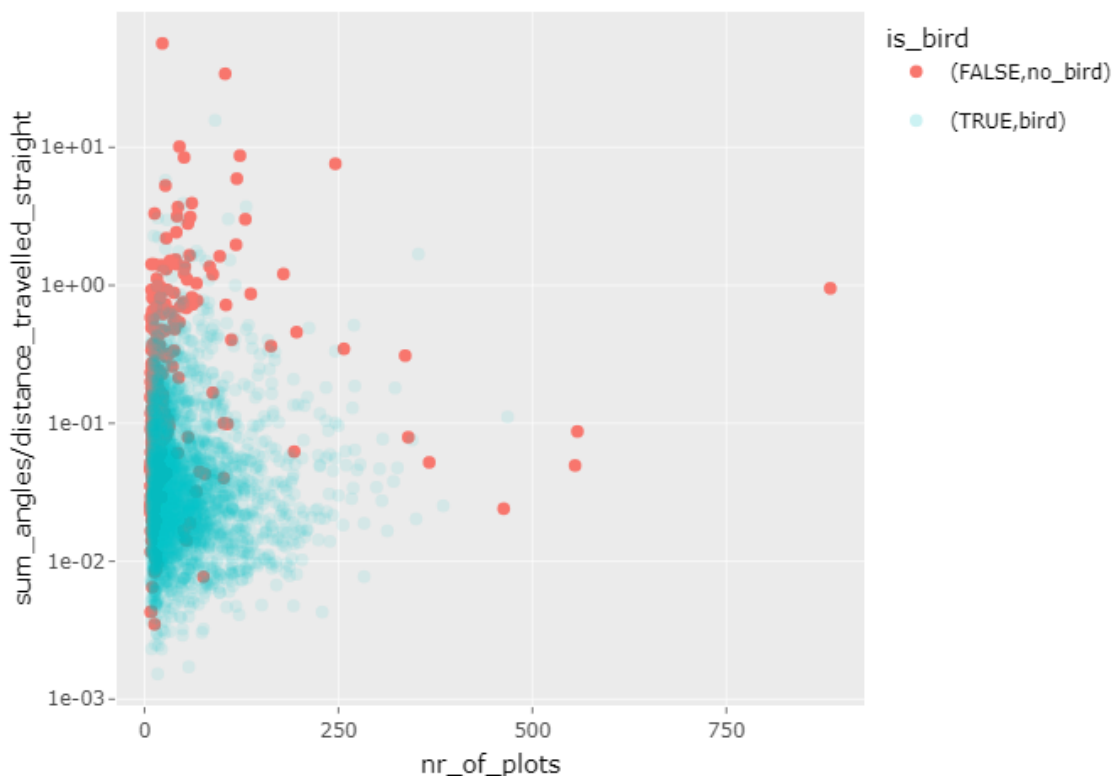
In onderstaande grafiek (figuur 96) is de relatie tussen de totale afgelegde afstand in een rechte lijn tussen het eerste en laatste punt van de track (`distance_travelled_straight_3d`) en de totale afgelegde afstand (`distance_travelled_3d`) gemaakt. We zien dat de trajecten van niet-vogels veelal een kortere rechtlijnige afstand hebben. De `distance_travelled_straight_3d` is immers de lengte van een rechte tussen het eerste en het laatste punt van het traject in 3D. Toch liggen er nog relatief veel afwijkende waarden in de overlap.



Figuur 96. Relatie tussen distance travevelled straight en distance travelled (3D) voor correcte of valse vogeltracks. De zwarte referentielijn is als beide waarden gelijk zijn (beweging rechtlijnig).

De relatie tussen de som van de hoeken + de totale afgelegde afstand in een rechte lijn tussen het eerste en laatste punt van de track ( $\text{sum\_angles}/\text{distance\_travelled\_straight}$ ) met het aantal plots in de betreffende tracks (`nr_of_plots`) toonde met een eerste deel van de validaties aan dat er voor een aantal plots van boven 30 niet meer veel echte vogeltracks in dezelfde zone als de valse tracks vallen. Met de meest actuele data is dit echter minder duidelijk (figuur 97). Een diepgaandere analyse kan bepalen of het te overwegen is om relatief korte tracks te verwijderen.





Figuur 97. Relatie tussen aantal plots in de tracks en de som van 'angles/distance\_travelled\_straight' voor correcte of valse vogeltracks.

Als voorlopig besluit kunnen we stellen dat vogels en niet-vogels op het eerste zicht moeilijk te onderscheiden lijken op basis van de gevalideerde tracks. Door de valse tracks van regen buiten beschouwing te laten, is het onderscheid tussen echte en valse vogeltracks bij bovenstaande variabelen mogelijk beter (nader te onderzoeken). Indien het geval, kan gopteerd worden om de momenten van regen niet te gebruiken voor analyse. Misschien dat machine learning op de verschillende parameters en een groter aantal validaties ook een oplossing bieden om minder valse vogeltracks te krijgen.

In elk geval lijkt een eenvoudige parameter om valse vogeltracks met zekerheid te herkennen niet echt een optie op korte termijn. Men kan zich ook de vraag stellen in hoeverre het nodig is om niet-vogeltracks uit de dataset te halen en de afwijkende vogeltracks te behouden. Het grote voordeel is wel dat de grote beschikbare dataset zonder al te grote data-cleaning wellicht voldoende is om de (meeste) belangrijke kennisvragen te beantwoorden.

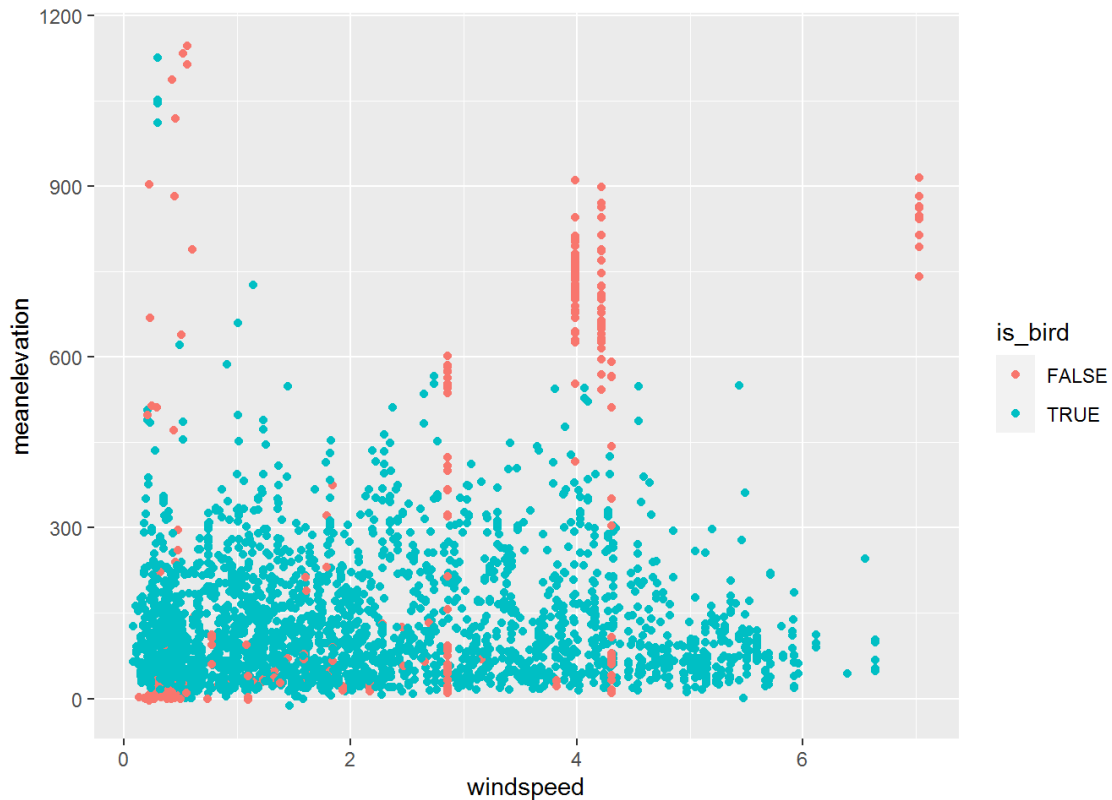
Toch kan nog getracht worden om op basis van een combinatie van parameters (multivariate analyse) de niet-vogeltracks zoveel mogelijk te verwijderen. Men verwijderd dan zeker ook een deel echte vogeltracks, maar dankzij de enorm grote dataset is dit probleem wellicht verwaarloosbaar.



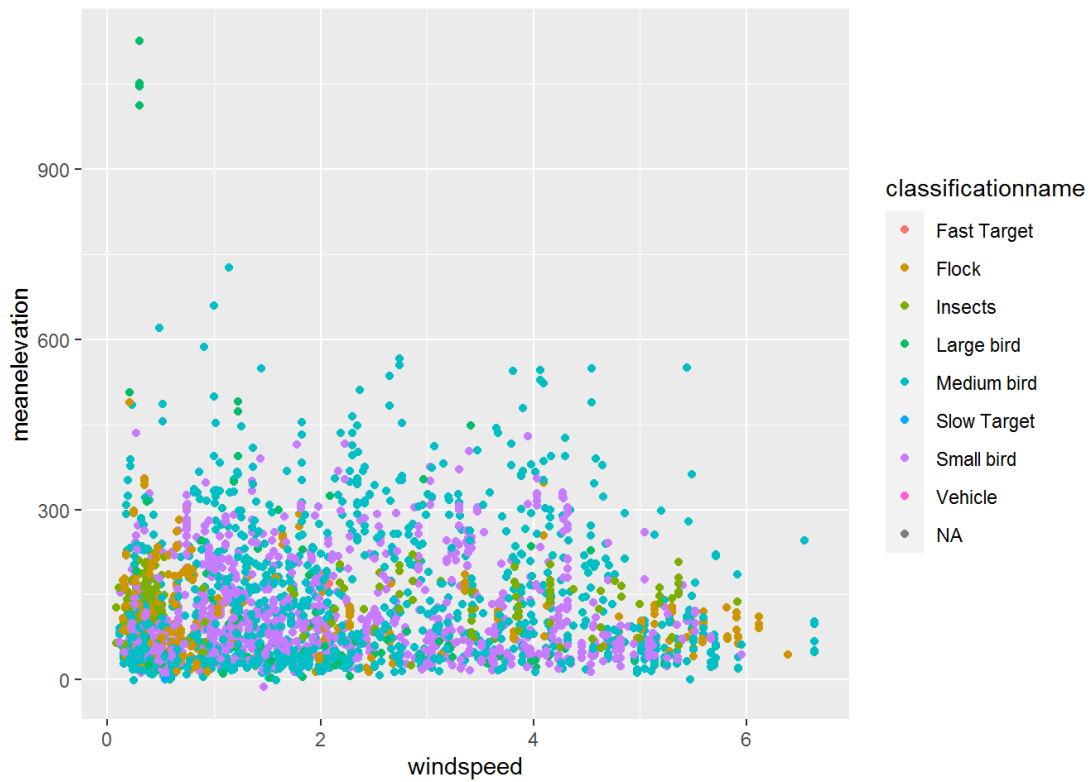
### 6.2.3 Voorbeeld van analysemethoden voor het effect van weersomstandigheden

Een eerste verkenning van de mogelijke methoden om het mogelijk effect van bepaalde weersfactoren op (vogel)tracks te onderzoeken, werd voorlopig uitgevoerd op de gevalideerde tracks. In eerste instantie werd hiervoor gekeken naar de windsterkte. Het effect van neerslag kon nog niet nader onderzocht worden omdat de validatiemetingen in 2021 in hoofdzaak gericht waren op de detectiecapaciteit van de radar in verschillende telcirkels verspreid in het aandachtsgebied. De validaties moesten daarom in weersomstandigheden worden uitgevoerd met vrij gelijkaardige weersomstandigheden (vooral ook goed zicht).

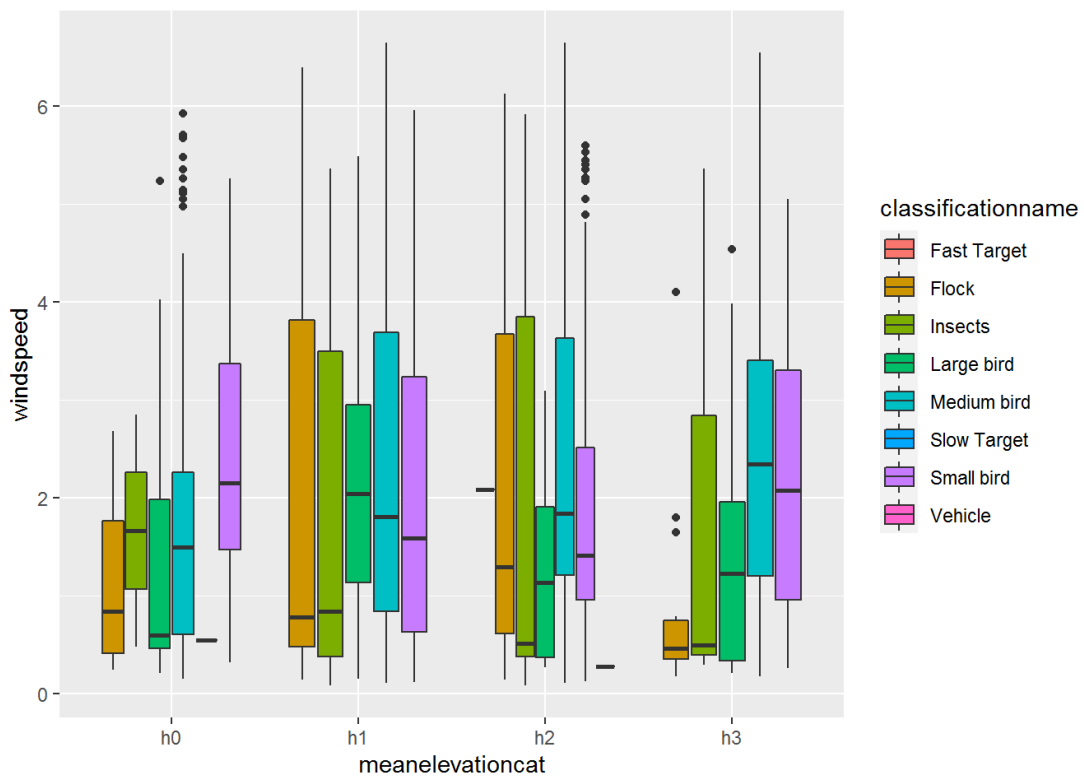
De figuren 98-100 tonen een voorbeeld van de mogelijke relatie tussen windsterkte en gemiddelde vlieghoogte van de gevalideerde vogeltracks. Er is met deze data geen duidelijke relatie te zien, hoewel groepen van vogels (flocks) lager lijken te vliegen bij hogere windsterkte (figuur 100). De dataset van gevalideerde vogels is echter relatief beperkt. Een analyse met de grotere dataset is gepland, met de nodige selecties in de ruimte (enkel onderzoeksgebied waar relatief goed radarzicht is voor vogels) en de tijd (bijvoorbeeld exclusief momenten van regen).



Figuur 98. Voorbeeld van de mogelijke relatie tussen windsterkte en vlieghoogte van vogels.



Figuur 99. Voorbeeld van de mogelijke relatie tussen windsterkte en vlieghoogte van vogelclassificaties en andere classificaties.

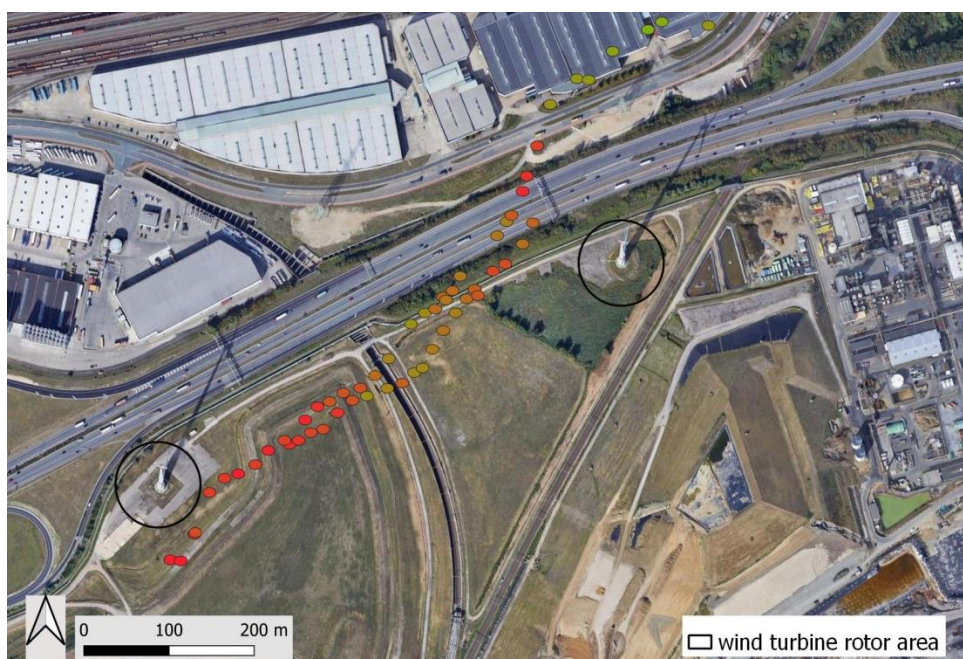


Figuur 100. Boxplot voorbeeld van de mogelijke relatie tussen windsterkte en vlieghoogte in hoogteklasses H0-H3, (zie ook 5.1.1.1) van vogelclassificaties en andere classificaties.

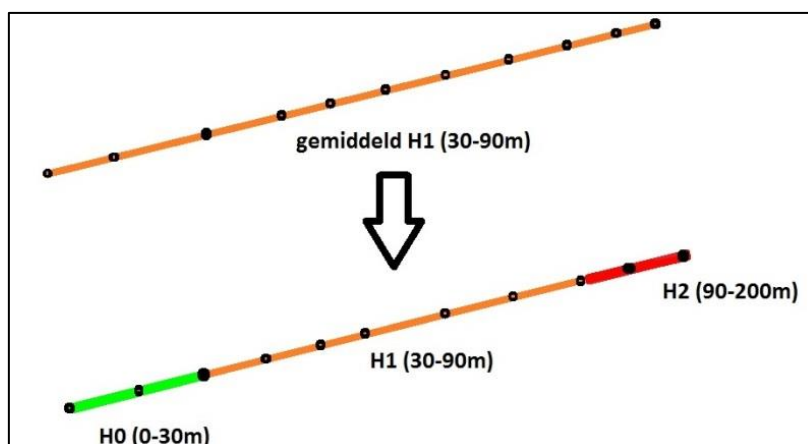
## 7 VERKENNING VAN 3D RADARTRACKS ROND WINDTURBINES EN HOOGSPANNINGSLIJNEN

### 7.1 METHODE VOOR VISUALISATIE EN ANALYSE

De radartracks bevatten volledige 3D informatie per plot (punt van elke radardetectie). Deze informatie kan voor een beperkt aantal tracks gevisualiseerd worden (figuur 101). Voor een bruikbare visualisatie en verdere analyse werd (voorlopig) een vereenvoudiging toegepast met hoogteklassen zoals gebruikt voor de validaties (H0: 0-30 m, H1: 30-90 m, H2: 90-200 m, H3: >200 m). Hierbij werd niet de gemiddelde waarde genomen per track; elke track werd (waar van toepassing) opgesplitst op basis van de detailinfo van de plots (figuur 102).



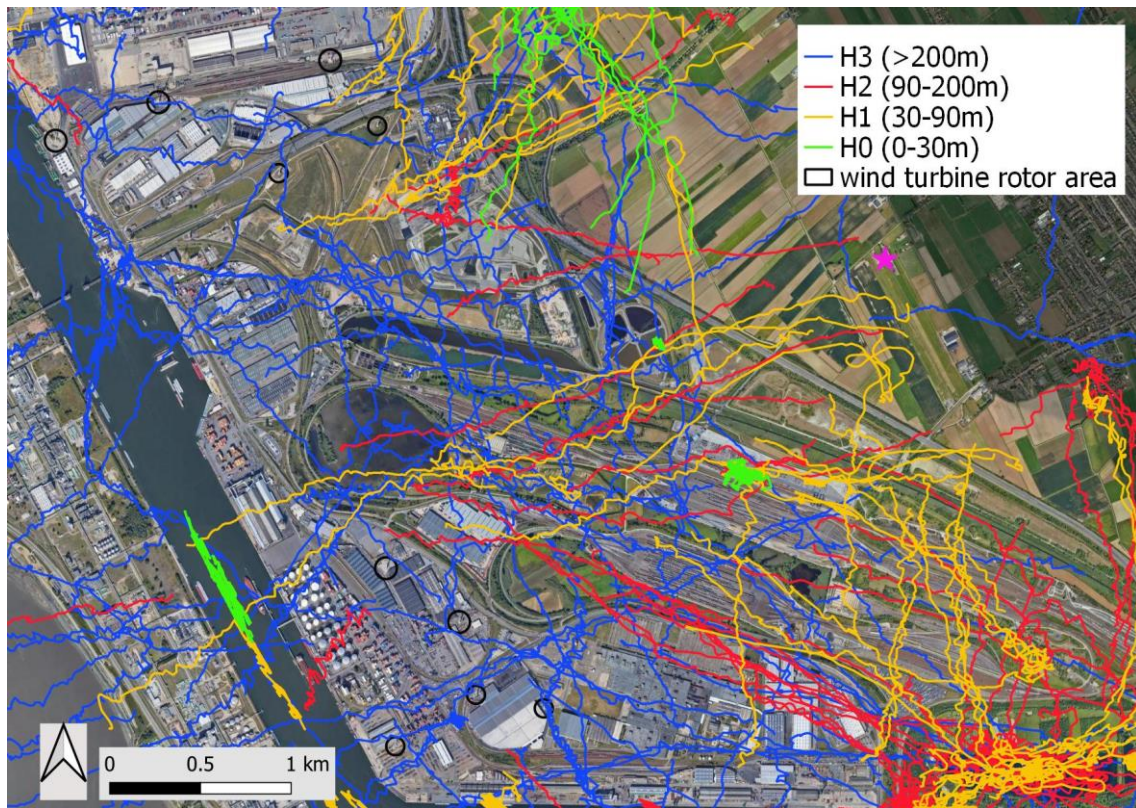
Figuur 101. Weergave van de verschillende plots (punten van detectie, zonder verbindinglijn) van twee vogeltracks in de buurt van windturbines. Het hoogteverschil is per plot gradueel weergegeven: rood = rotorhoogte ca. tussen 90-200 m, groener = onder rotorhoogte.



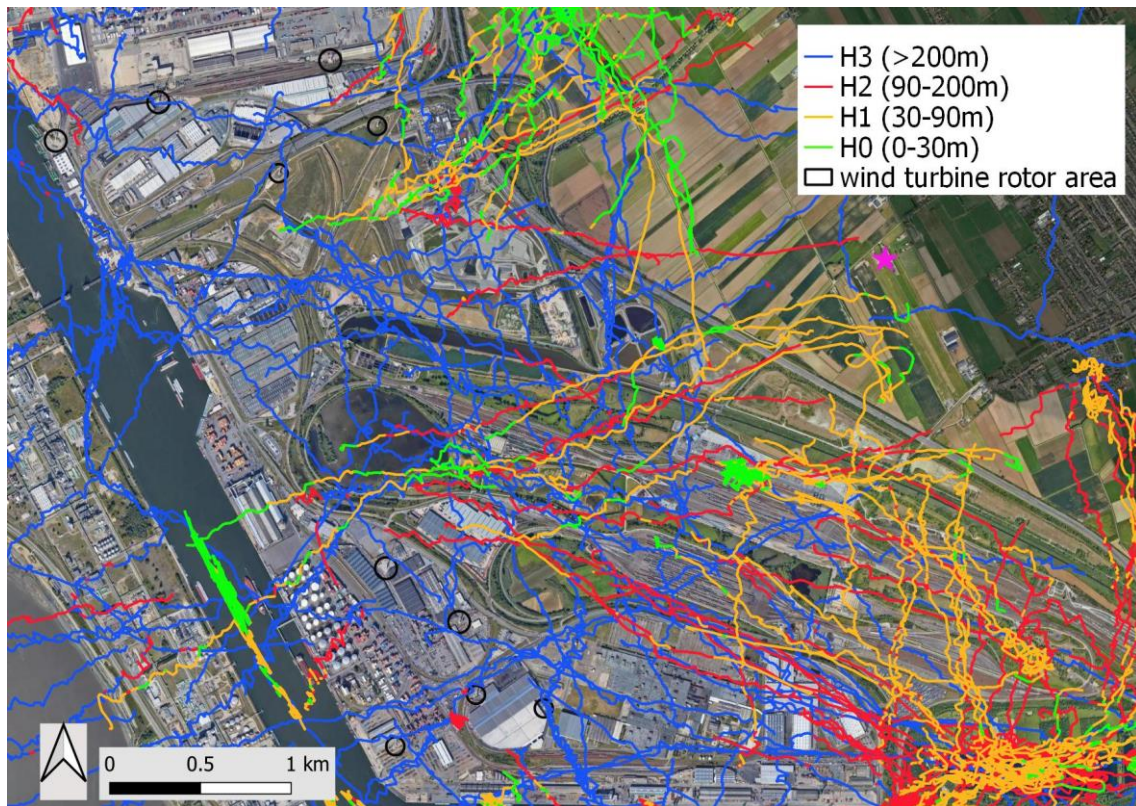
Figuur 102. Omzetting van track met gemiddelde hoogtewaarde naar opgesplitste track.



Figuur 103 en 104 tonen een voorbeeld van het verschil tussen tracks met een gemiddelde hoogtewaarde en tracks opgesplitst op basis van de detailinfo van alle plots in de track.



Figuur 103. Lange (>2km) tracks van groepen vogels (flocks) in januari, met gemiddelde hoogtewerke.



Figuur 104. Idem als figuur 94, maar nu op hoogtewerke opgesplitste tracks.



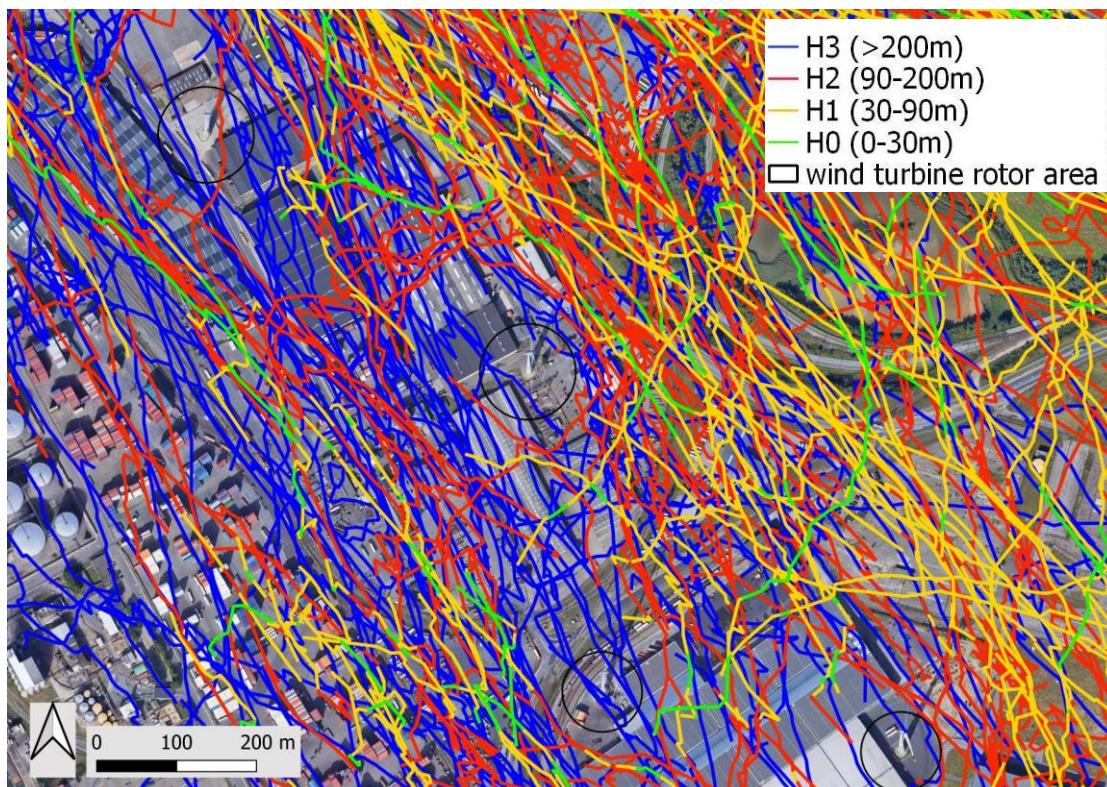


## 7.2 VOORBEELDEN MET VERKENNENDE ANALYSE

In dit deel zijn enkele voorbeelden weergegeven van radartracks van alle gevalideerde vogels in 2021 (figuur 105) en van verschillende (door de radar) geclassificeerde vogelklassen (kleine, middelgrote en grote vogels, en groepen vogels flocks) in juli 2021 (figuren 106-109), dit alles in eerste instantie ter hoogte van de windturbinecluster ten zuiden van reservaat De Kuifeend waar het huidig zicht van de radar het beste is. Bij de onderstaande figuren worden de tracks weergegeven met lagere bovenop hogere hoogteklaas. Hierdoor kunnen bij een groot aantal enkel de tracks in laagste hoogteklaas zichtbaar zijn.

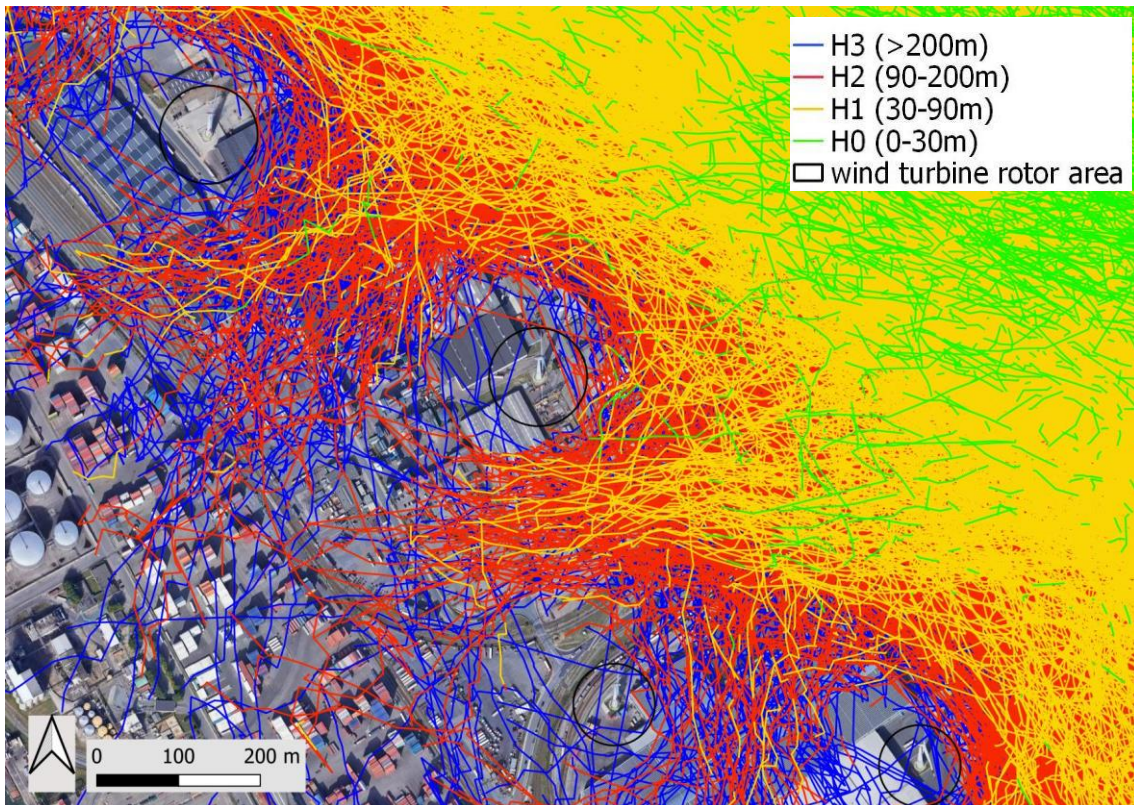
Op het eerste zicht wijzen de figuren op een te verwachten uitwijkgedrag dichtbij de windturbines ('micro- en/of meso-uitwijking') zowel voor groepen vogels, grote als kleinere vogels, behalve voor de vogels die boven rotorhoogte (>200 m) vliegen. Zeker bij een groot aantal tracks (bijvoorbeeld in figuren 106-107) lijkt dit zo op basis van de gelijkaardige vorm van de wijzigingen van richting. Op het eerste zicht zijn er niet zoveel tracks die door het radarsysteem 'doorgeknijpt' zijn ter hoogte van de turbines omwille van tijdelijke verstoring door de draaiende wieken als de vogel nabij de turbine passeert. Een verdere detailanalyse van het vlieggedrag tot dichtbij de turbines lijkt dus mogelijk. Bij de figuren dient opgemerkt dat de methode van visualisatie met opsplitsing van elke track op basis van hoogteklaas (zie 7.1), kan zorgen alsof een track stopt of start terwijl het hier ook vaak is omwille van wijziging van hoogteklaas van dezelfde track. Het is de bedoeling dit mogelijk uitwijkgedrag in de toekomst nader te onderzoeken.

In figuur 108 zijn ook valse vogeltracks zichtbaar met classificatie grote vogels ('large birds'), steeds met een gelijkaardig patroon zowel ter hoogte van de windturbine als verderop ten westen ervan (verlengde van radarbundel). Dit fenomeen blijkt op sommige momenten op te treden, maar lijkt zich niet voor te doen bij de andere vogelclassificaties.

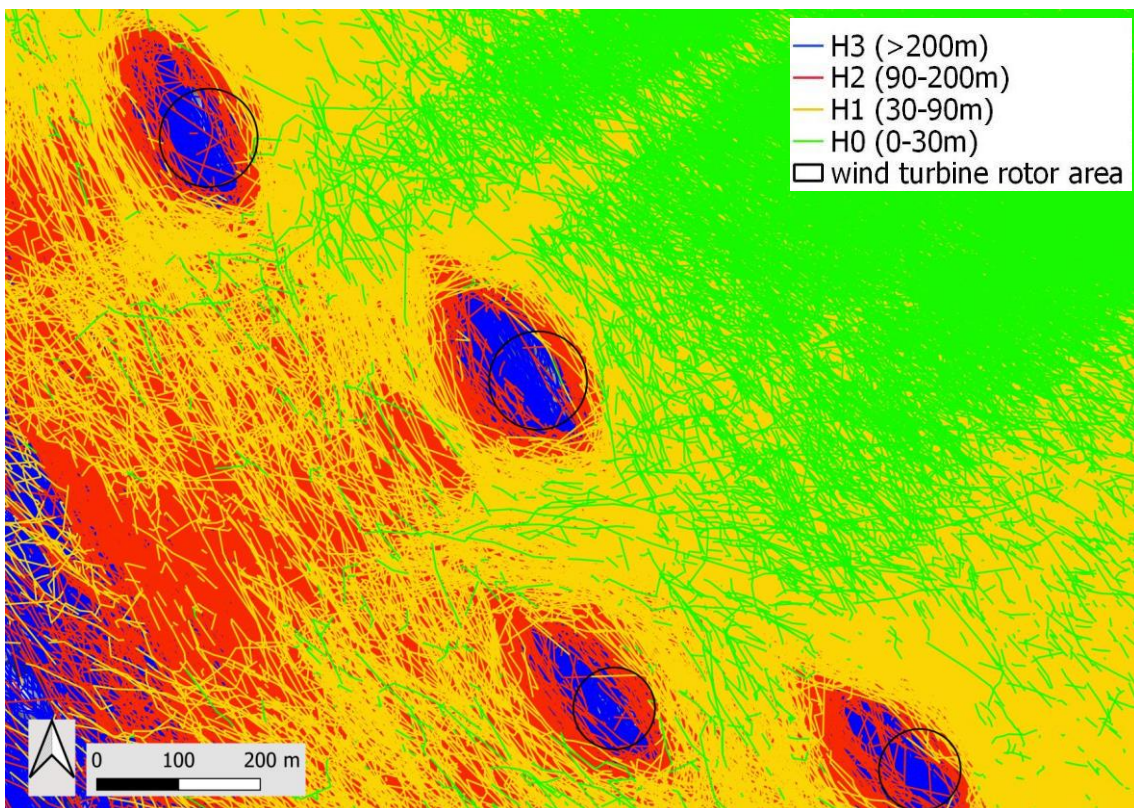


Figuur 105. Alle gevalideerde vogeltracks in 2021 ter hoogte van de zuidelijke cluster van windturbines.





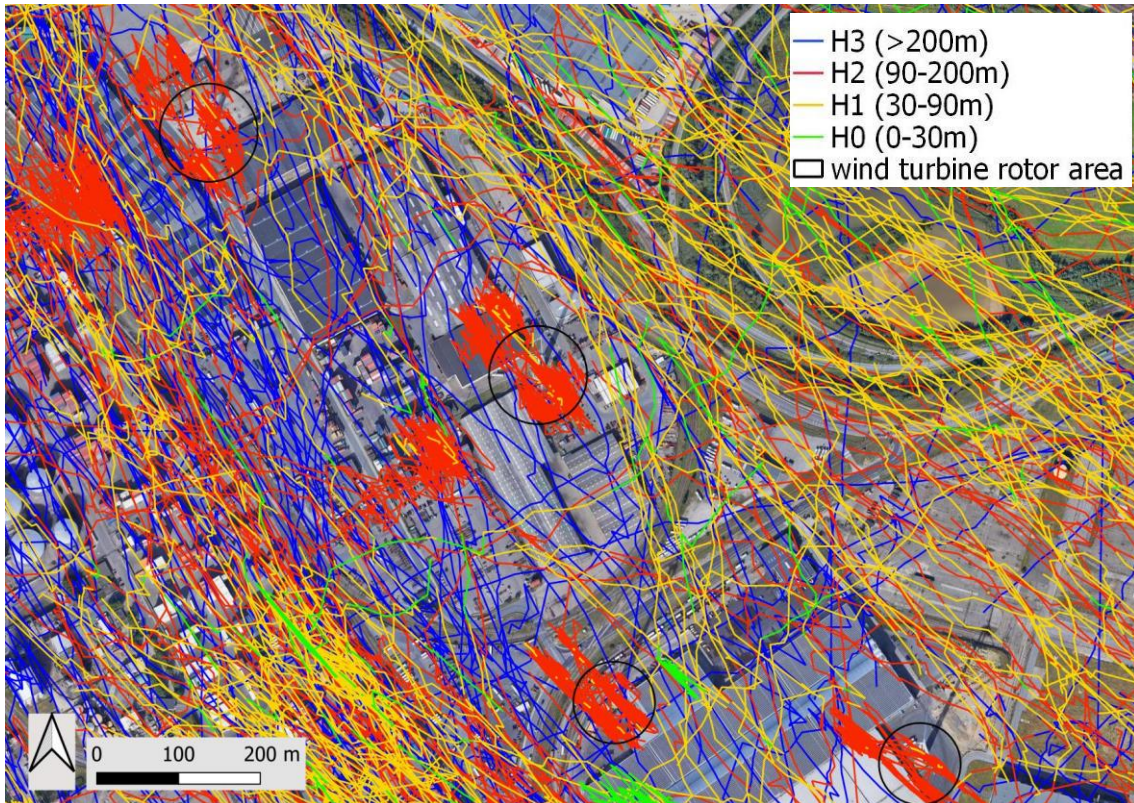
Figuur 106. 'Small bird' (kleine vogel) tracks met min. 1 km lengte in juli 2021.



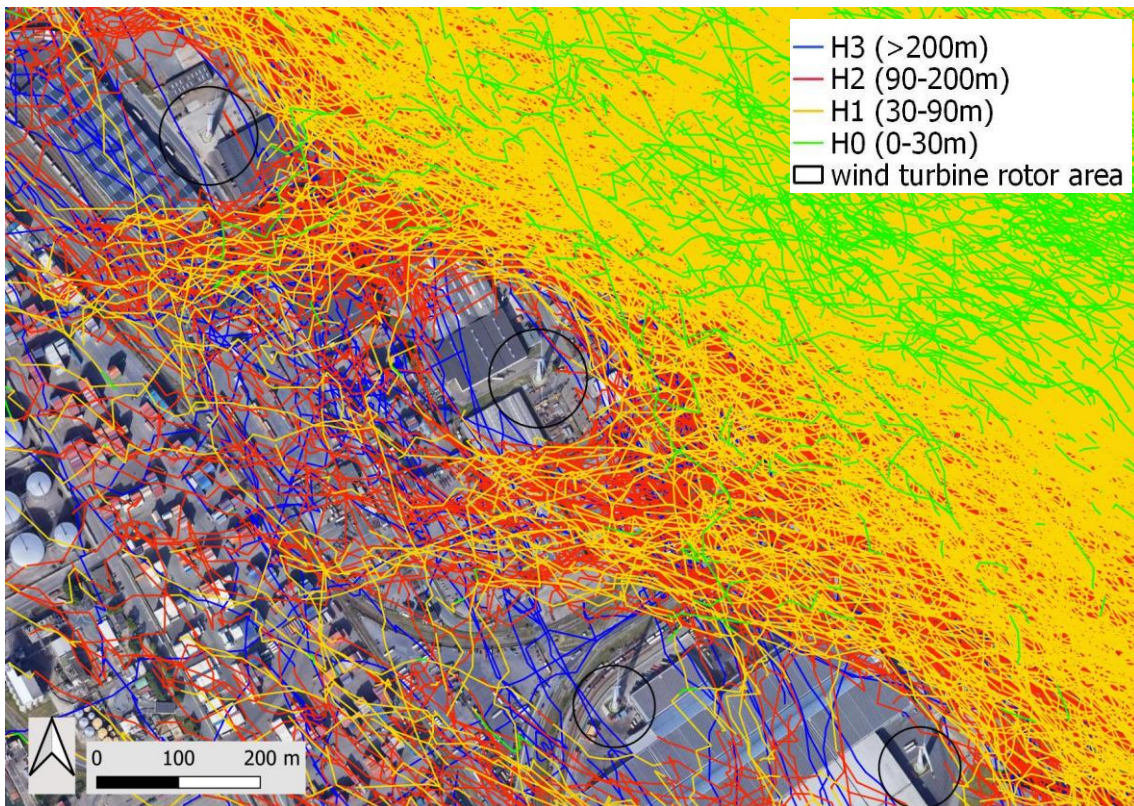
Figuur 107. 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 1 km lengte in juli 2021.







Figuur 108. 'Large bird' (grote vogel) tracks met min. 1 km lengte in juli 2021. Met valse vogeltracks.



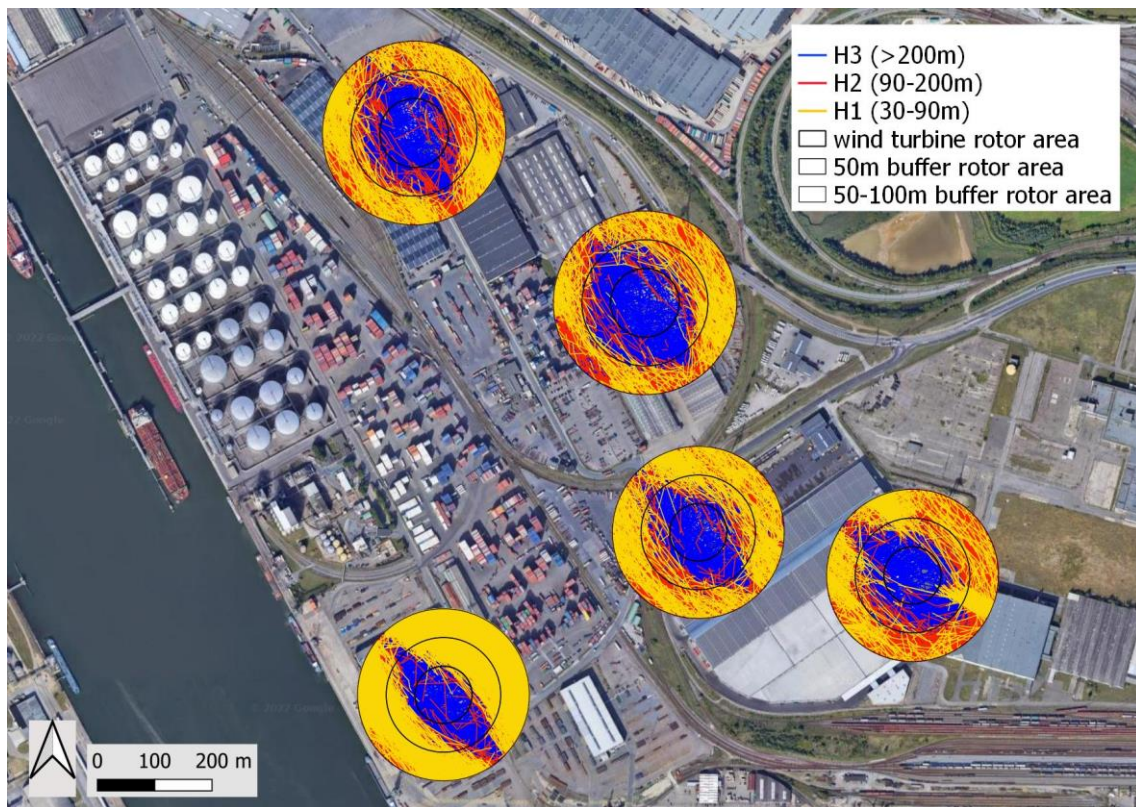
Figuur 109. 'Flock' (groepen vogels) tracks met min. 1 km lengte in juli 2021.





In figuur 107 (zie boven) is verder ook een klein effect zichtbaar van verstoring van het radarzicht op lage hoogte (vooral H0 maar ook deels op H1) in een zone achter de windturbines (ten opzichte van de radarbundel). Dit is ook te zien in enkele figuren van hoofdstuk 8 (zie verder). Hiermee zal ook rekening moeten gehouden worden.

De figuren 110-111 tonen een verkennende analyse met het aantal door het radarsysteem geclassificeerde individuele 'Medium bird' vogeltracks van minstens 100 m tracklengte in februari 2021. Let wel, op basis van de validatiemetingen bleken dit in werkelijkheid vooral individuele 'grote vogels' (hier vooral grote meeuwen) te zijn (zie figuur 68 in 5.2.2). Om de verschillen te zien tussen de omgeving van het rotorvlak van windturbines en de omgeving ervan, werd als eerste test een selectie gemaakt van de tracks binnen 3 verschillende zones: de cirkelzone van het rotoroppervlak, en de 50 m buffer en 50-100 m buffer daarrond.



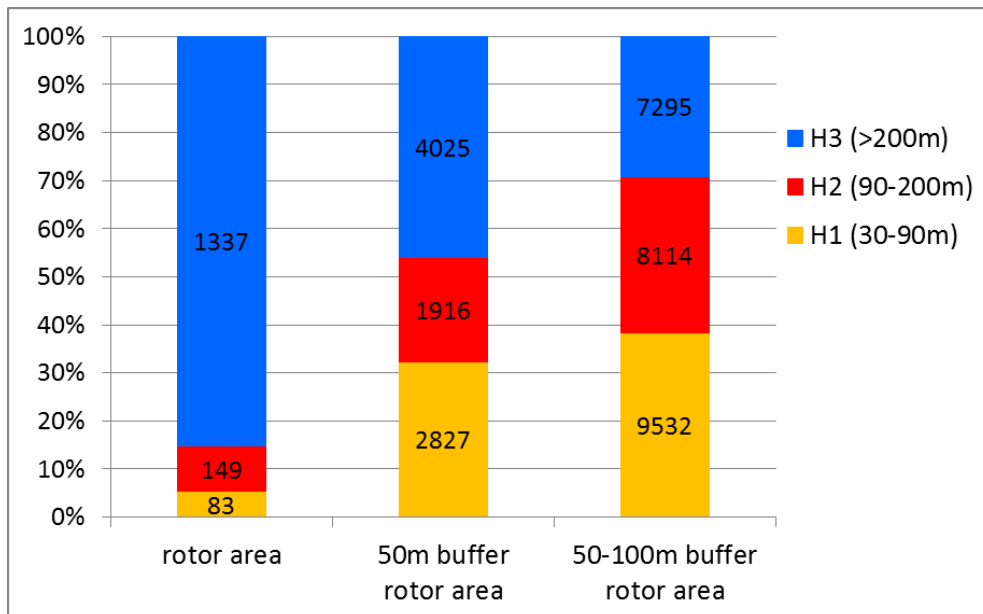
Figuur 110. 'Medium bird' tracks (min. 100 m lengte) in februari 2021, binnen specifieke turbinebuffers.

In figuur 110 valt sterk op dat de 'blauwe ogen' van de op grote hoogte (H3) passerende vogels boven het rotoroppervlak, een vorm hebben die vrijwel zeker het gevolg zijn van de overheersende windrichting en bijgevolg de oriëntatie van de rotorwieken. Ook dit fenomeen wijst op het uitwijkgedrag van een groot deel van de vogels.

In figuur 111 is grafisch de verhouding weergegeven van het aantal vogeltracks voor de hoogteklassen H1 (30-90 m), H2 (rotorhoogte 90-200 m) en H3 (>200 m) in de drie toegepaste turbinebuffers. Hierbij werd het aantal eerst gecorrigeerd met de voorlopige resultaten van de detectiecapaciteit voor telcirkel nr. 6 (verschil in detectie per hoogteklaas, correctie van +56% voor H1, +26% voor H2, en +9% voor H3, zie resultaten in hoofdstuk 5.2.1).



Uit deze verkennende analyse kunnen we voorlopig concluderen dat er dichtbij de windturbines in vergelijking met hoogtes van meer dan 200 m, relatief weinig middelgrote tot grote vogels passeren op hoogtes van 30-90 m en rotorhoogte 90-200 m.



Figuur 111. 'Medium bird' tracks (min. 100 m lengte) in februari 2021, binnen specifieke turbinebuffers. Hierbij is een correctie gemaakt met de voorlopige resultaten van het verschil in detectiecapaciteit in de verschillende hoogteklassen voor telcirkel nr. 6.

### Details van valse 'Large bird' vogeltracks door windturbines

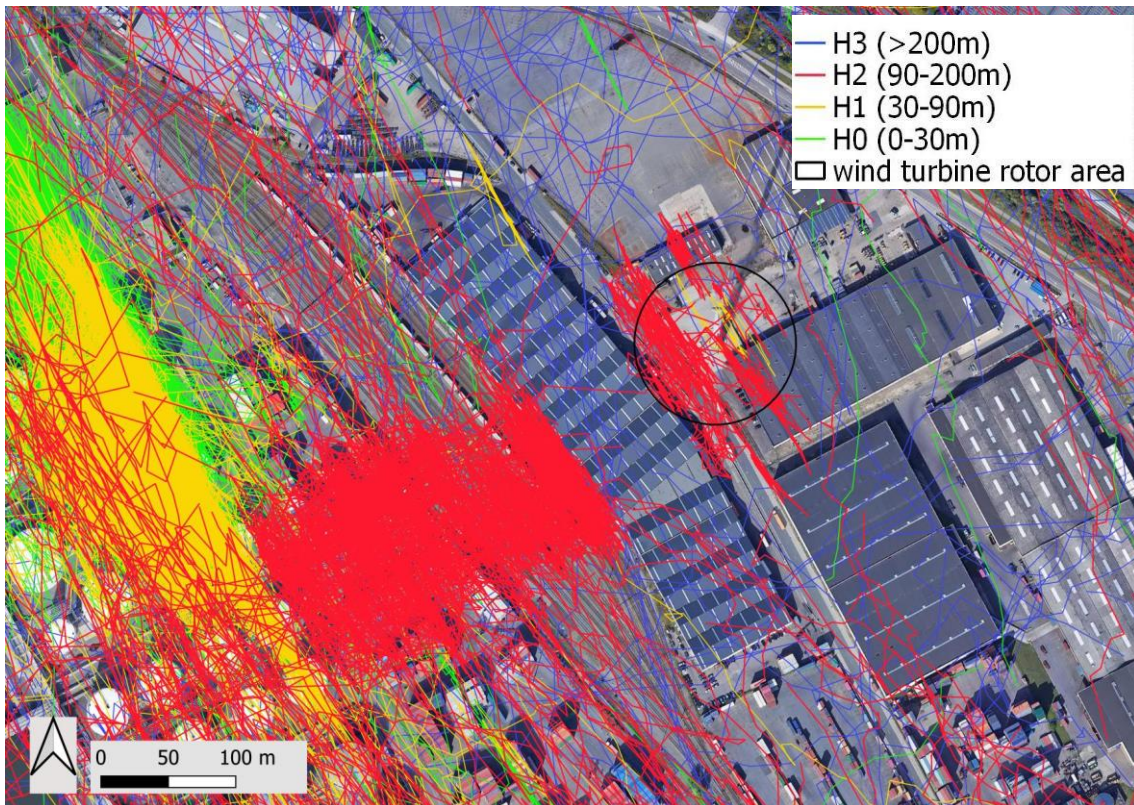
In figuren 112-113 zijn de valse vogeltracks bij de classificatie grote vogels (large birds) wat meer in detail zichtbaar gemaakt voor twee van de windturbines van de zuidelijke cluster. Hoewel dergelijke valse vogeltracks niet werden waargenomen tijdens de validatiesessies, kunnen we op basis van een ruimtelijke analyse (onnatuurlijk steeds gelijkaardig patroon) aannemen dat dit geen echte vogeltracks zijn. Bij het patroon is ook telkens ongeveer 100 m tussen het deel aan de wieken en het deel verder westelijk ervan waarna het geleidelijk vermindert.

Ook aan de meer centraal-noordelijke cluster van windturbines (figuur 114) is hetzelfde patroon te zien van duidelijk valse vogeltracks. In deze figuur is ook een hoogspanningslijn zichtbaar, die geen effect lijkt te hebben op deze valse vogeltracks. Het is voorlopig onduidelijk of er specifieke momenten zijn waarop deze valse vogeltracks verschijnen.

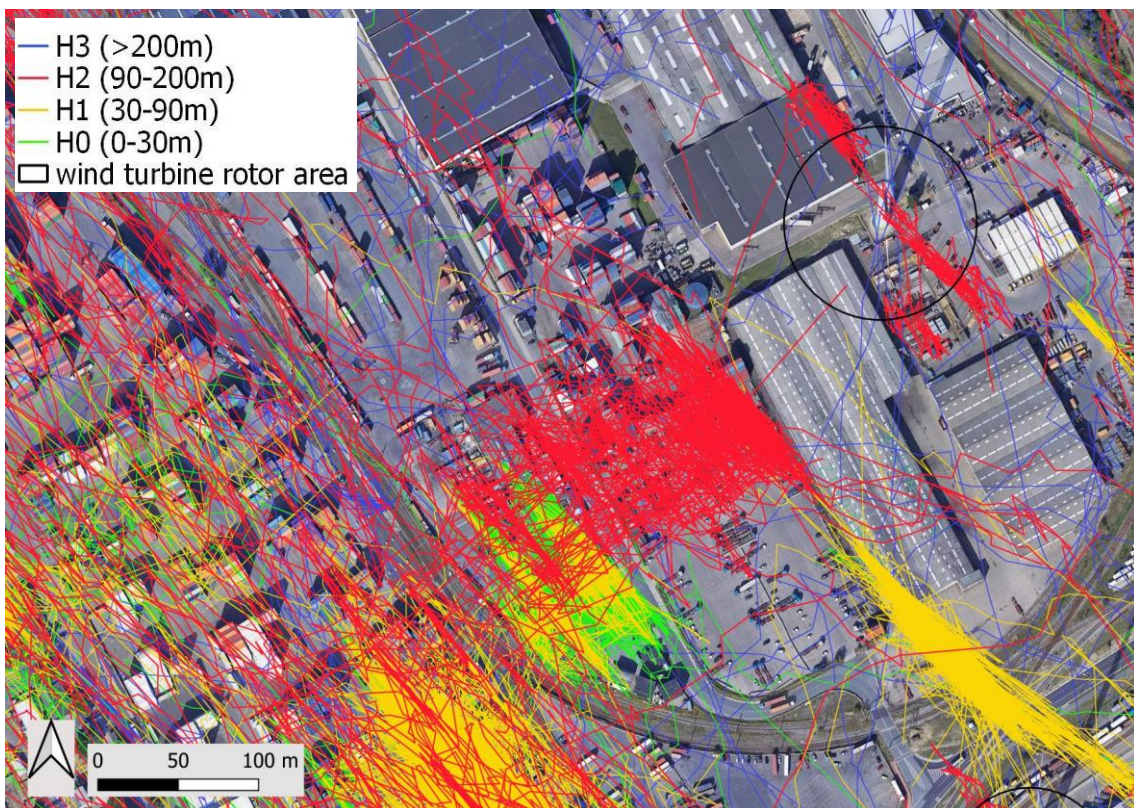
De valse 'large bird' vogeltracks lijken toch wel een heel specifieke signatuur te hebben, waardoor deze met de nodige verdere analyse automatisch zouden moeten kunnen verwijderd worden uit de database.







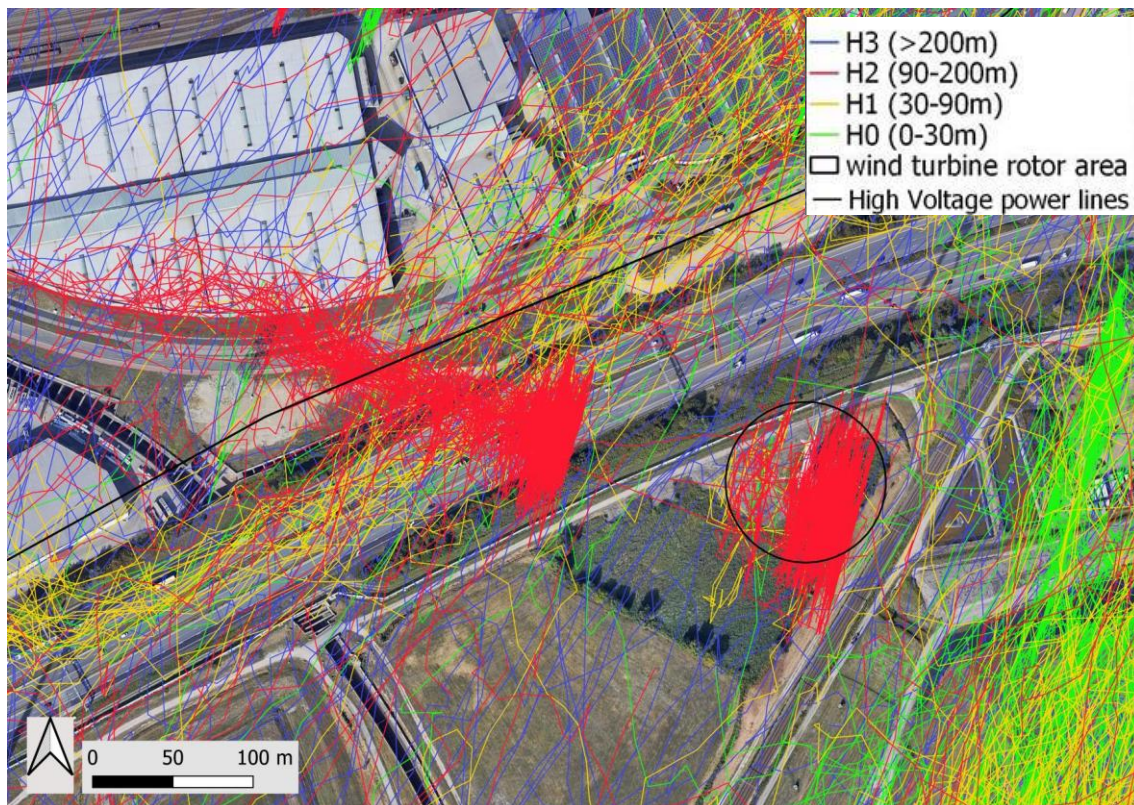
Figuur 112. Detail van valse tracks van de classificatie grote vogels ('large birds') in februari langs een turbine van de zuidelijke windturbinecluster nabij Grote Kreek.



Figuur 113. Detail van valse tracks onder de classificatie grote vogels ('large birds') in februari langs een turbine van de zuidelijke windturbinecluster nabij Grote Kreek.







Figuur 114. Detail van valse tracks onder de classificatie van grote vogels ('large birds') in februari langs de windturbine bij Hooge Maey.

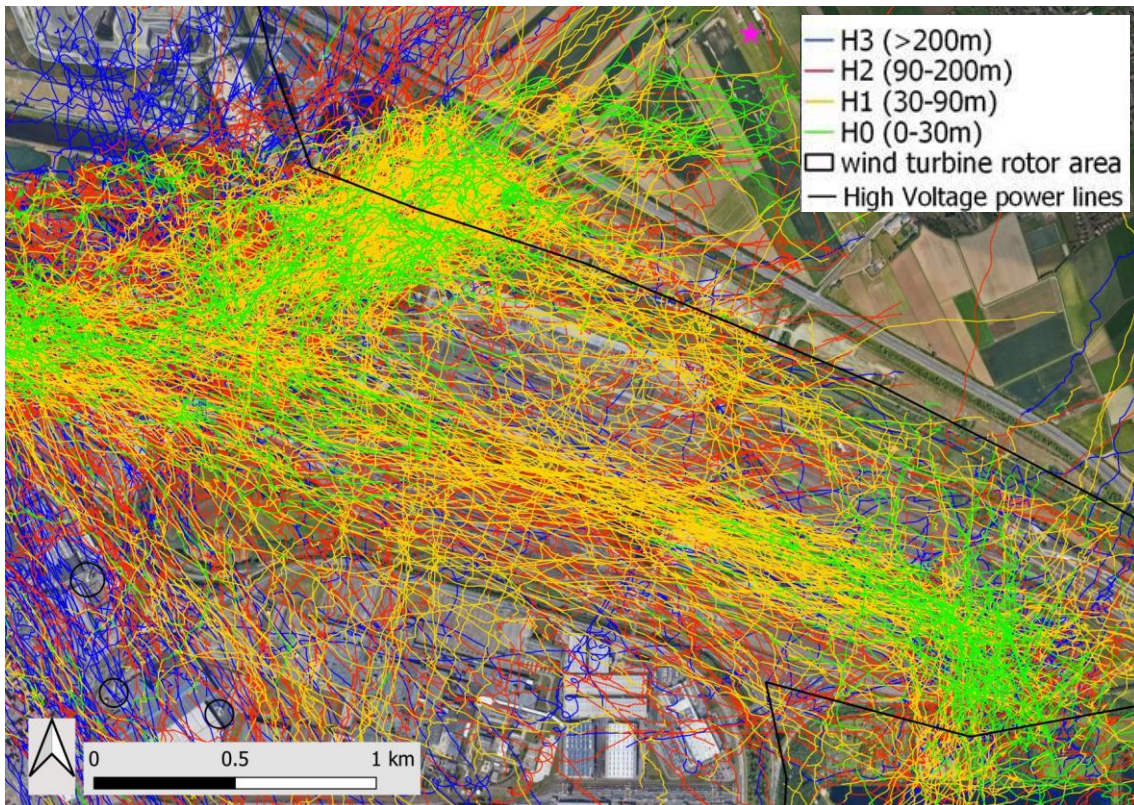
### Vogeltracks rond hoogspanningslijnen

De figuren 115-116 tonen visualisaties met de hoogspanningslijn in de noordostrand van het focusgebied, evenwijdig met de A12-Havenweg. Zowel bij alle gevalideerde vogeltracks (figuur 115) als een selectie van relatief lange tracks van alle vogelgroepen (classificatie 'flock') in 2021 (figuur 116) lijkt de hoogspanningslijn op korte afstand geen opvallend effect te veroorzaken op de vliegbewegingen, of althans niet zo duidelijk als het geval is in de buurt van de windturbines. Een meer gedetailleerde analyse (wijzigingen in vlieghoogte, verschil lokale trek en seizoenstrek, verschil specifieke vogelgroepen, ...) is nog niet uitgevoerd.

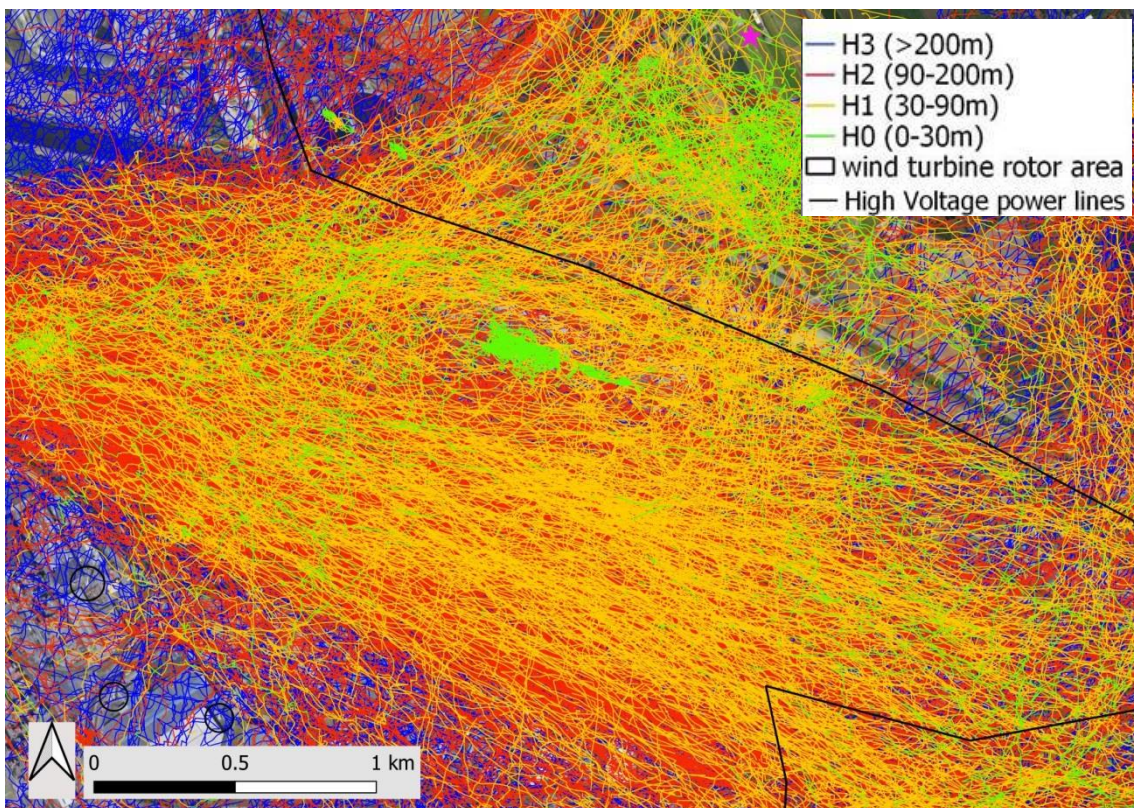
Om het mogelijk effect van hoogspanningslijnen te onderzoeken, zullen o.a. de huidige op windturbines toegepaste hoogteklassen moeten gewijzigd worden.







Figuur 115. Tracks van alle gevalideerde tracks van zekere vogels in 2021, met weergave van zowel windturbines als hoogspanningslijnen in het centraal deel van het focusgebied.



Figuur 116. Tracks van vogelgroepen (flocks), januari-december, selectie: 16-23u met tracklengte van min. 2 km, incl. aanduiding van de hoogspanningslijnen, in centraal deel van focusgebied.







## 8 BEPERKINGEN IN HET RADARZICHT DOOR VERSTORING VAN STRUCTUREN DICHTBIJ DE RADAR

### 8.1 BESCHRIJVING VAN HET MOGELIJKE PROBLEEM

Een zo optimaal mogelijke standplaats van de radar is het meest belangrijke aspect om een vogelradar maximaal zijn capaciteiten te laten benutten. Storende landschapselementen dichtbij de radar kunnen grote gevolgen hebben voor een optimaal radarzicht verderop. Het is dan ook essentieel om na een grondige desktop analyse van het landschap, voldoende korte testen te doen op de potentieel best mogelijke plaatsen.

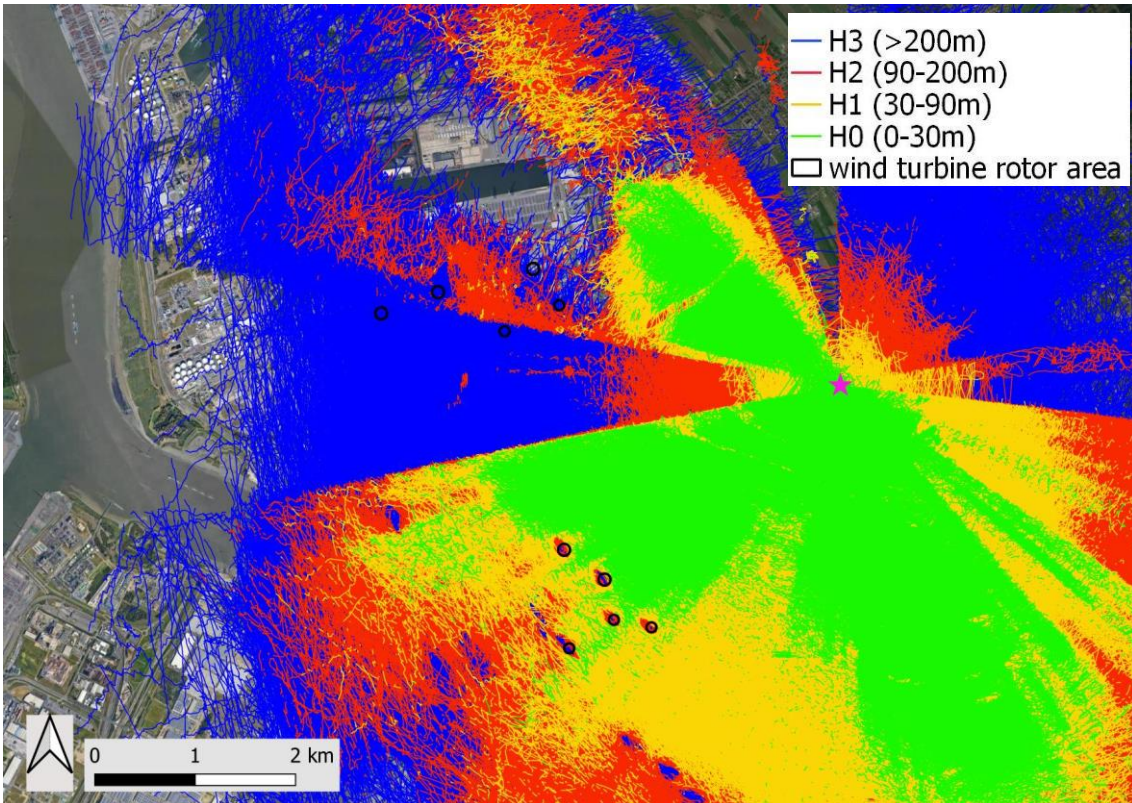
Vanaf het begin van het onderzoek in 2021 werd door INBO al vastgesteld dat de aanwezigheid van een groep bomen op 200-300 m van de radar belangrijke gevolgen zou hebben. Op basis van de contouren van het bosje werd de 'schaduwzone' achter het bosje voorspeld (figuur 118). In enkele voorbeelden voor 'medium bird' tracks (= middelgrote vogels die wel vaak grote vogels bleken te zijn, zie 5.2.2) is te zien dat de vogels in deze schaduwzone niet (voldoende) worden gedetecteerd onder de 200 m, zowel in de zomer als winter, en voor zowel lange (> 1 en 2 km) als relatief korte (min. 100 m) tracks (figuren 119-122).



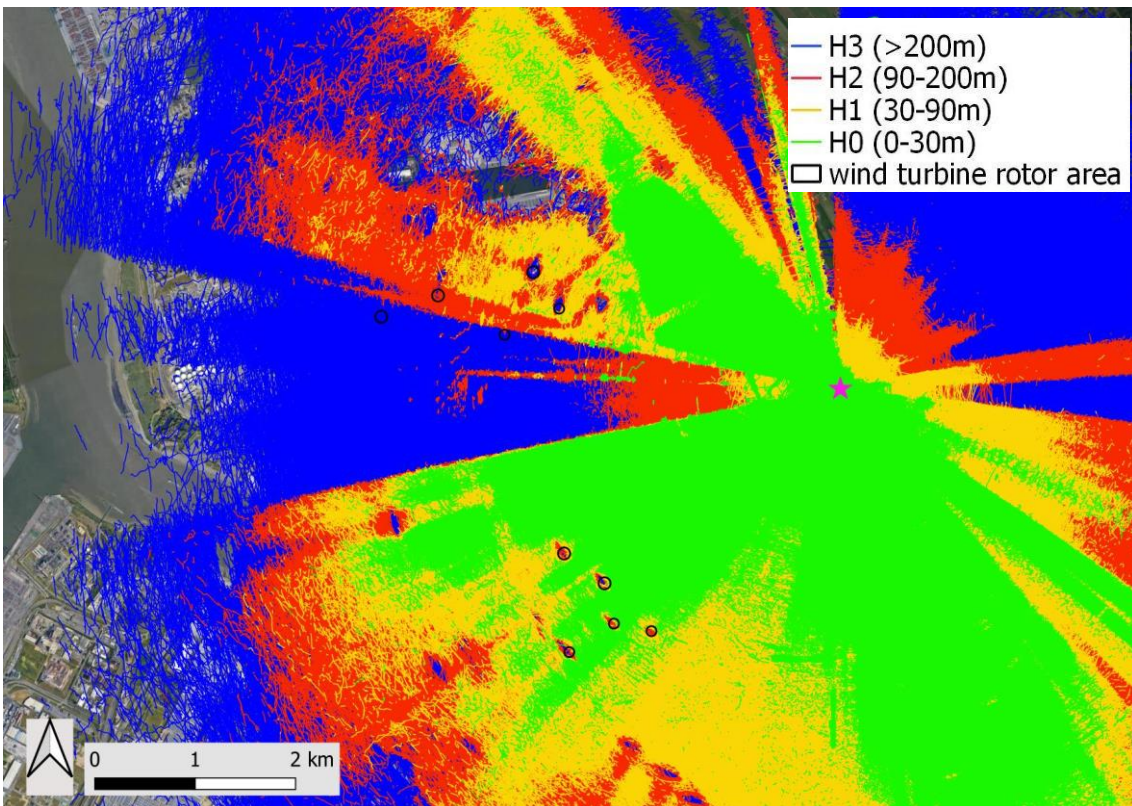
Figuur 118. Ruimtelijke voorspelling van de zone waarbinnen een verminderde detectie van de radar te verwachten is, met het digitaal hoogtemodel Vlaanderen (DTMVII-DSM 1m) als achtergrond (hogere structuren = lichtere kleur).







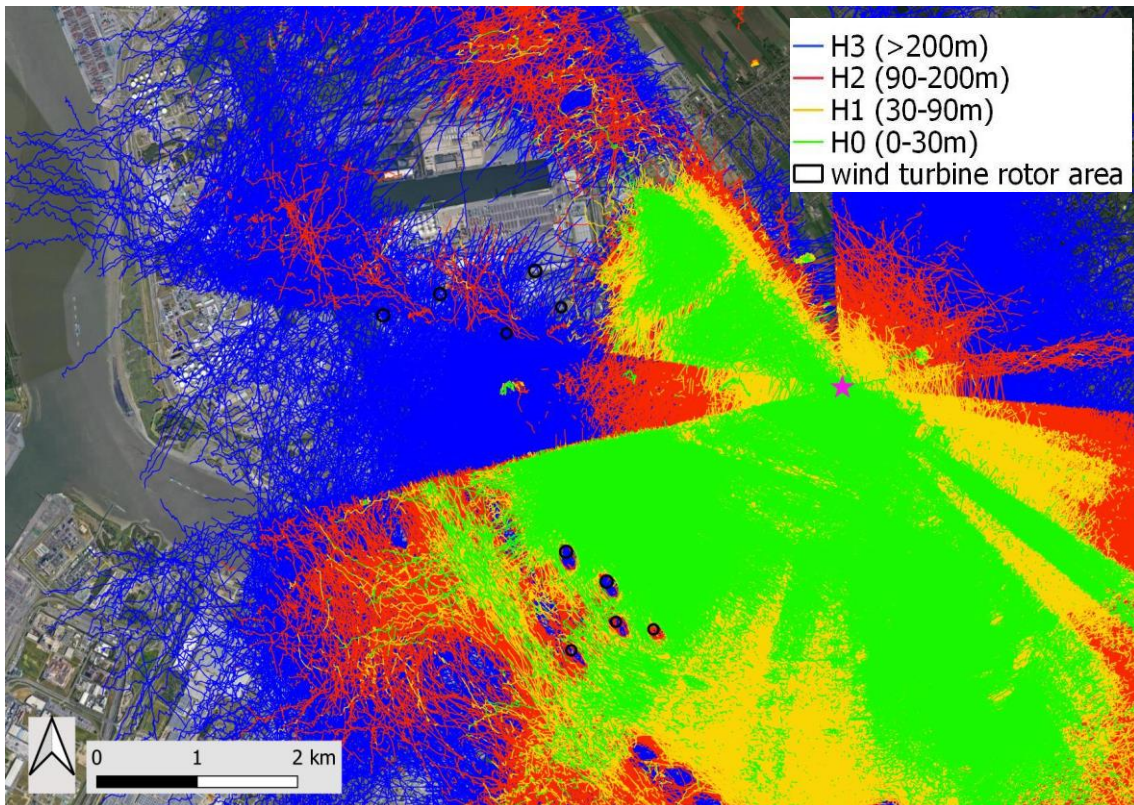
Figuur 119. 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 1 km lengte in juli 2021.



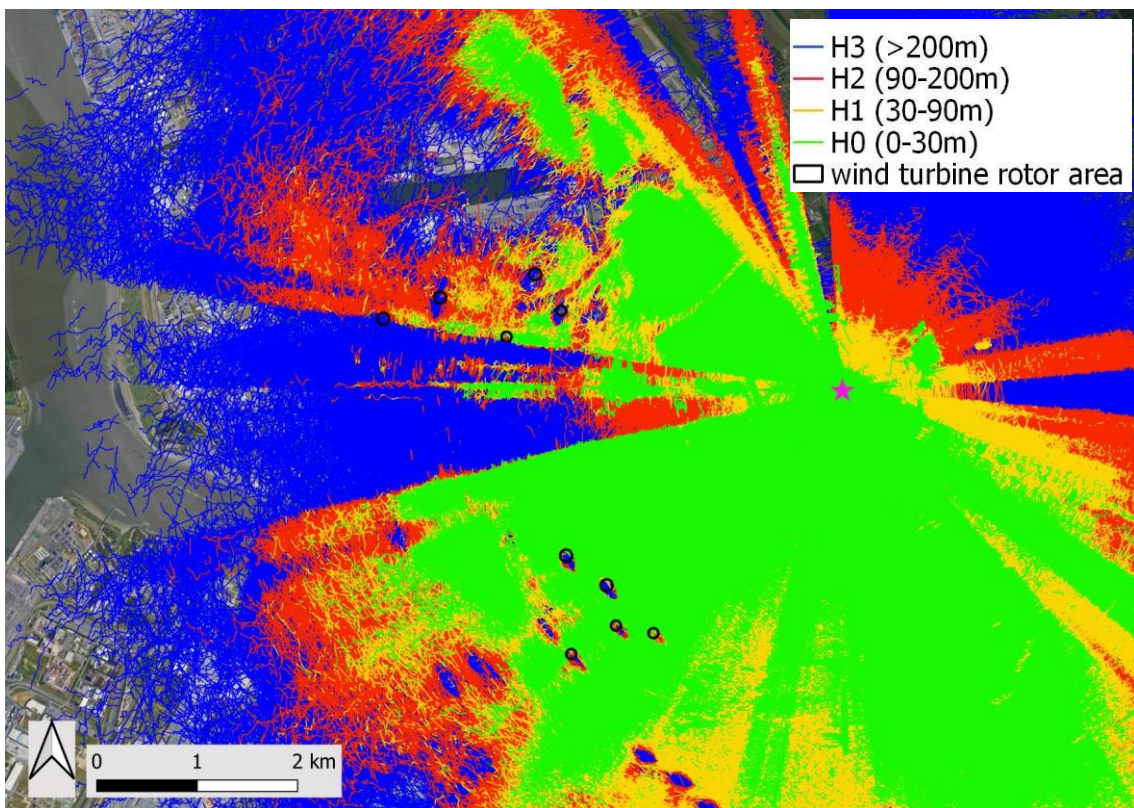
Figuur 120. 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 100 m lengte in juli 2021.







Figuur 121. 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 1 km lengte in december 2021.

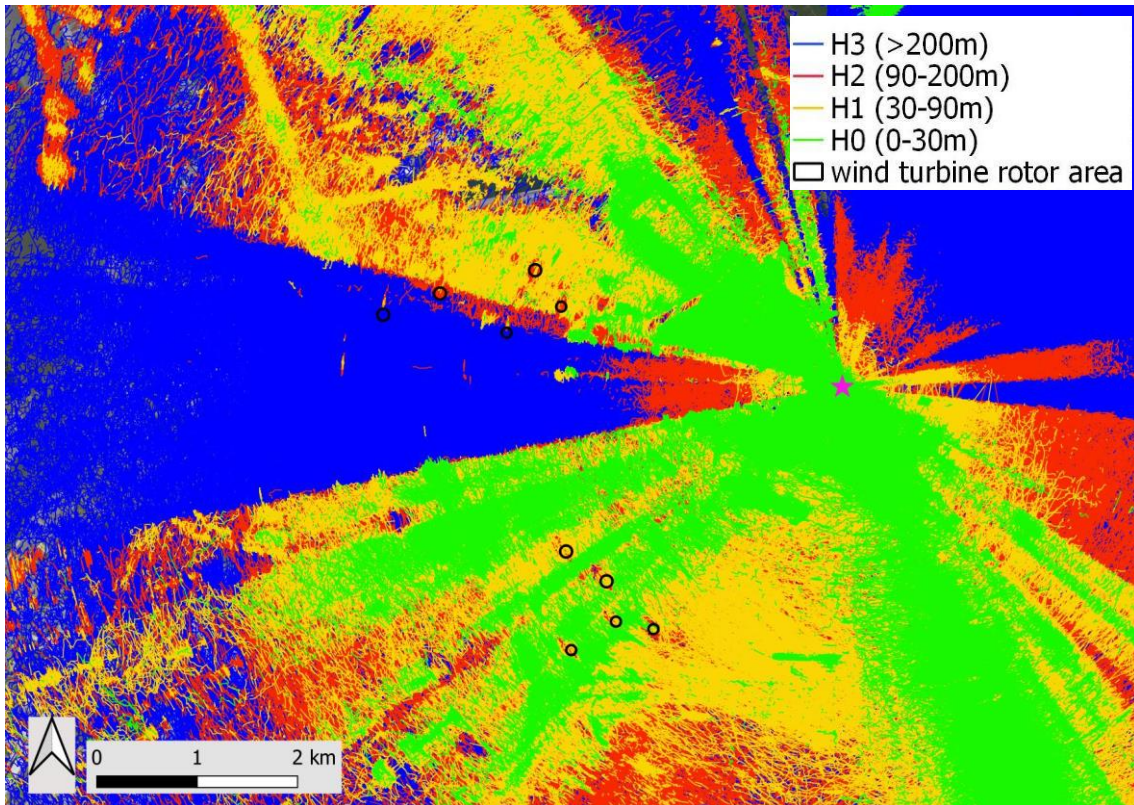


Figuur 122. 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 100 m lengte in december 2021.

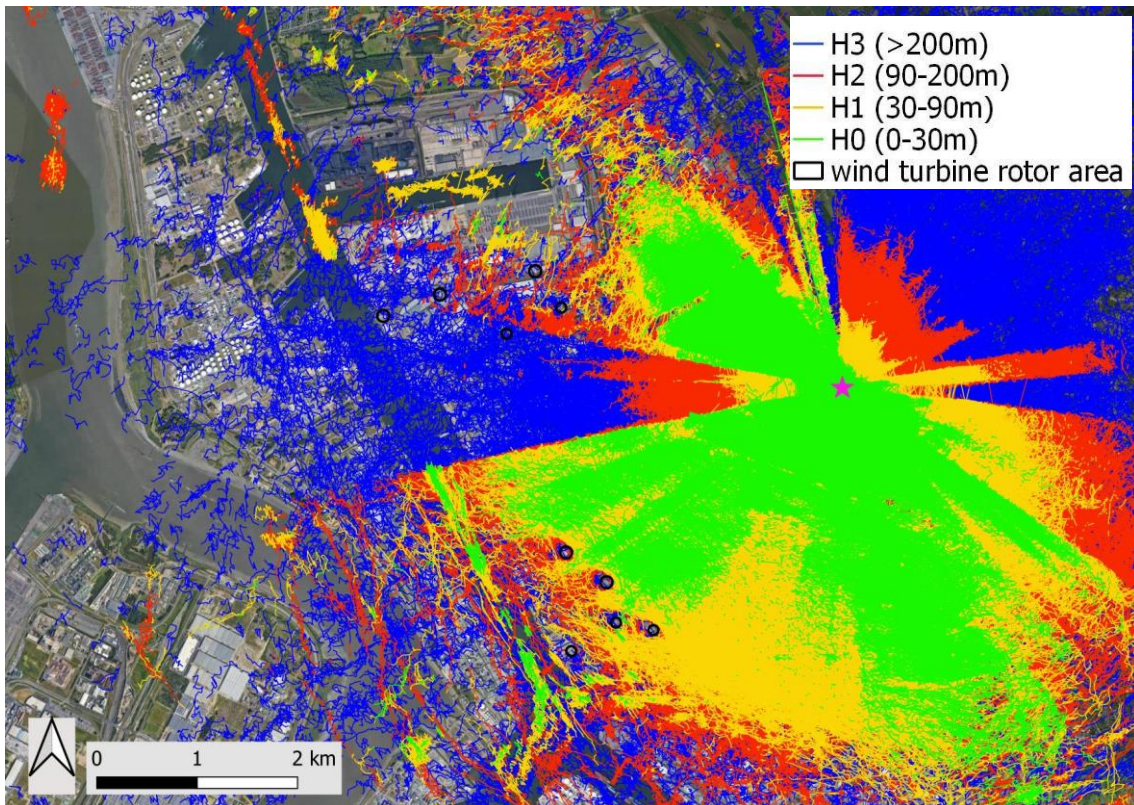




In figuren 123-124 is te zien dat het fenomeen zich ook voordoet bij andere vogelclassificaties, hier als voorbeeld voor tracks als 'large bird' (grote vogel) en 'flock' (groepen vogels).



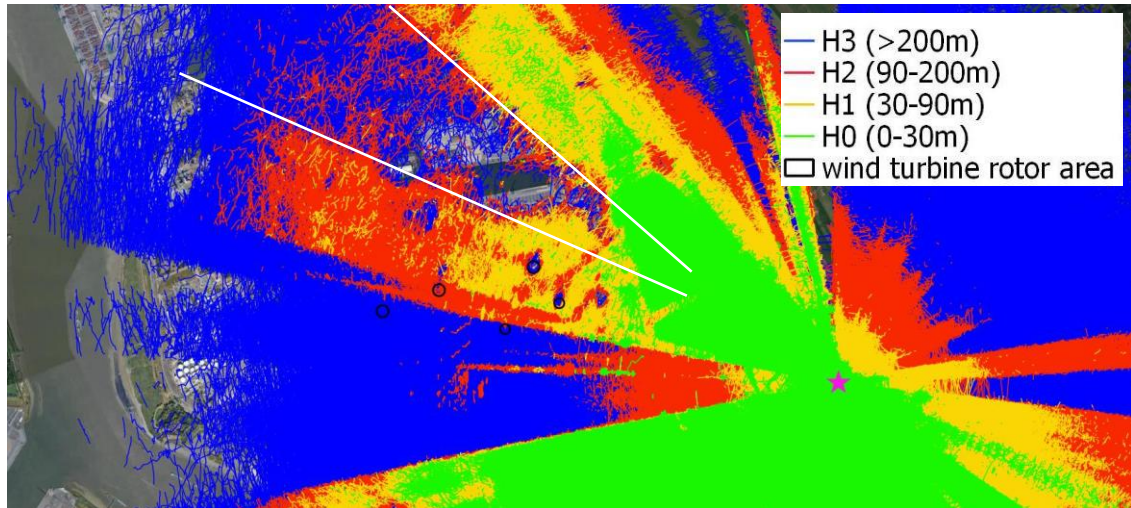
Figuur 123. 'Large bird' (grote vogel) tracks met min. 100 m lengte in juli 2021.



Figuur 124. 'Flock' (groepen vogels) tracks met min. 100 m lengte in juli 2021.



In bovenstaande figuren is vooral voor de 'medium birds' (figuren 119-122) ook een ander gebied te zien waar duidelijk minder radarzicht is op lage hoogtes, namelijk ten noorden van de noordelijke windturbinecluster. Waarschijnlijk is dit het gevolg van een 'schaduwzone' (voorbeeld zie figuur 125) in het verlengde van de bomen langs de verhoogde lus aan de verkeerswisselaar A12-R2, al dan niet gecombineerd met het verstorend effect van gebouwen en kranen centraal in de telcirkel 7.



Figuur 125. Uitsnede van figuur 120: 'Medium bird' (middelgrote vogel) tracks met min. 100 m lengte in juli 2021, met weergave (zone binnen de witte lijnen) van een bijkomende 'schaduwzone'.

### Oplossingen en aandachtspunten in de toekomst

Het is van essentieel belang om het zicht op relatief lage hoogte binnen het focusgebied, reeds op voorhand na te gaan met alle mogelijke technische middelen en analyses, vooraleer gerichte validatiesessies worden verricht.

We hebben de ambitie om indien gewenst (afhankelijk wat de ROBIN software reeds kan doen) een procedure te ontwikkelen die, op basis van gegenereerde radardata snel en efficiënt een overzicht kan genereren van wat de minimale hoogte is waar de radar een goed zicht op heeft. Door de minimale hoogte van alle tracks op een bepaalde (x, y) locatie weer te geven in een raster, kunnen blinde vlekken snel geïdentificeerd worden.

Indien de radar verplaatst wordt naar een nieuwe locatie kan er dan sneller geëvalueerd worden wat de zichtbaarheid is van de radar in de hoogte (z-coördinaten) op ieder van de (x,y) locaties, zonder dat daarvoor (veel) terrein-validaties nodig zijn in functie van de detectiecapaciteit op verschillende hoogtes.

Voorlopig is deze procedure nog in ontwikkeling. Het werd al succesvol toegepast op een beperkt aantal tracks, maar bij het opschalen werd voldoende geheugencapaciteit (lange wachttijden) een probleem. Dit kan opgelost worden door het optimaliseren van de query's en door procedures te gebruiken (efficiënter gebruik van geheugen), maar hiermee kunnen databankspecialisten het komende jaar helpen indien de techniek een goede optie lijkt.

## 9 EERSTE 3D ANALYSE VAN OPVALLENDE VliegBewegingen van vogels en vleermuizen

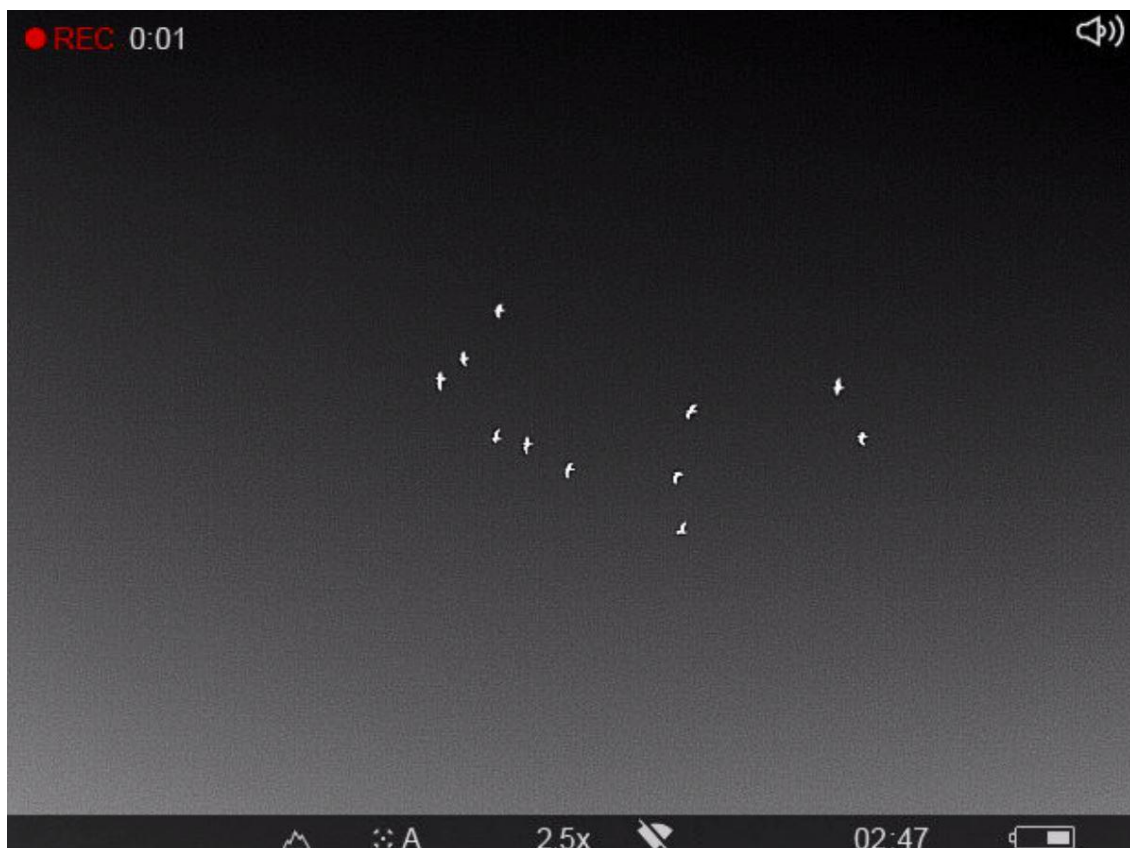
### 9.1 METHODE VOOR VISUALISATIE EN ANALYSE

In dit hoofdstuk worden een aantal voorbeelden gegeven van een eerste analyse van bepaalde types van vliegbewegingen van vogels en vleermuizen, enerzijds afkomstig van gevalideerde vogeltracks en anderzijds op basis van een selectie uit de volledige database. De weergave van is telkens uitgevoerd met de reeds opgesplitste tracks op basis van de 3D detailinfo van alle plots in elke track, gegroepeerd in de 4 hoogteklassen (zie beschrijving in deel 7.1).

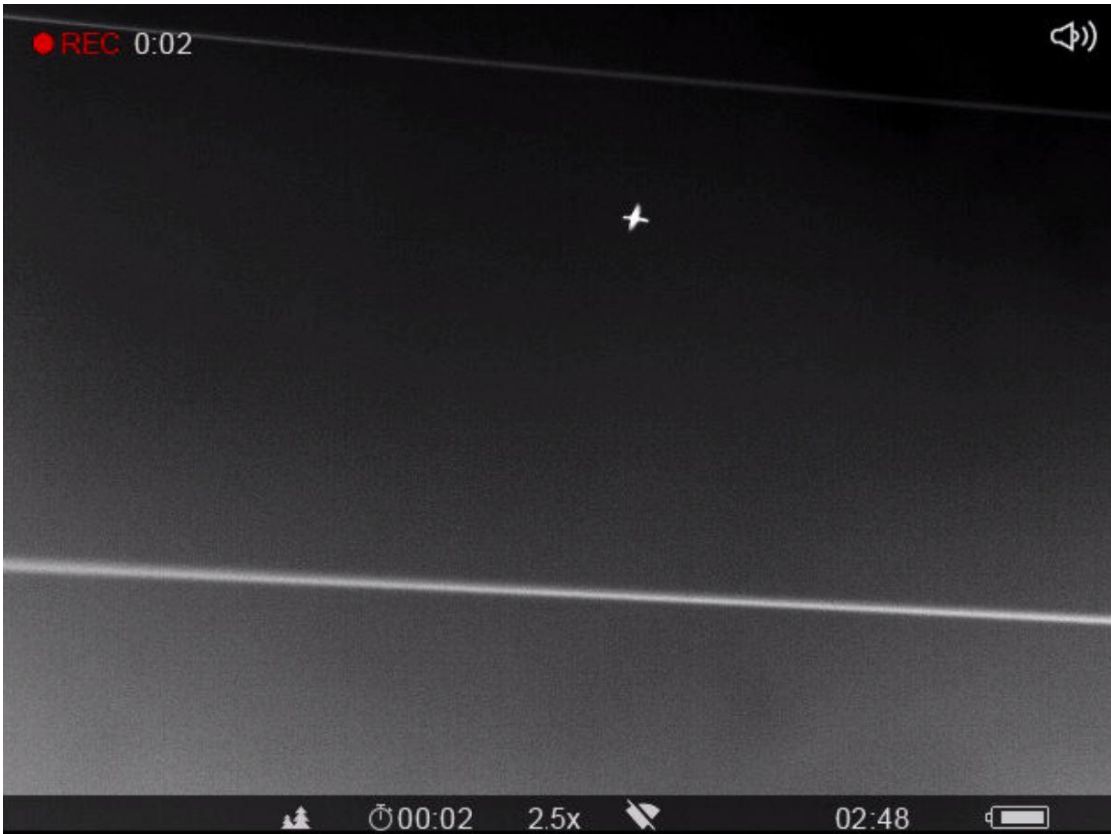
### 9.2 VOORBEELDEN MET VERKENNENDE ANALYSE

#### 9.2.1 Gevalideerde tracks van vogels en vleermuizen

In dit deel gebruiken we een selectie van de belangrijkste vogelgroepen met de in het veld gevalideerde radartracks in 2021, zowel overdag als 's nachts. In hoofdstuk 5.1 is reeds weergegeven hoe de validaties werden uitgevoerd. Tijdens de duisternis werd hiervoor steeds een Pulsar warmtebeeldkijker gebruikt. Enkele voorbeelden hiervan zijn weergegeven in figuren 126-128. Een selectie van gevalideerde vogeltracks van veel voorkomende vogels (figuren 129-142) tonen geen verschil tussen individuele vogels of groepen (flocks) van vogels.



Figuur 126. Groep meeuwen zichtbaar met de Pulsar Accolade XP50 warmtebeeldkijker.



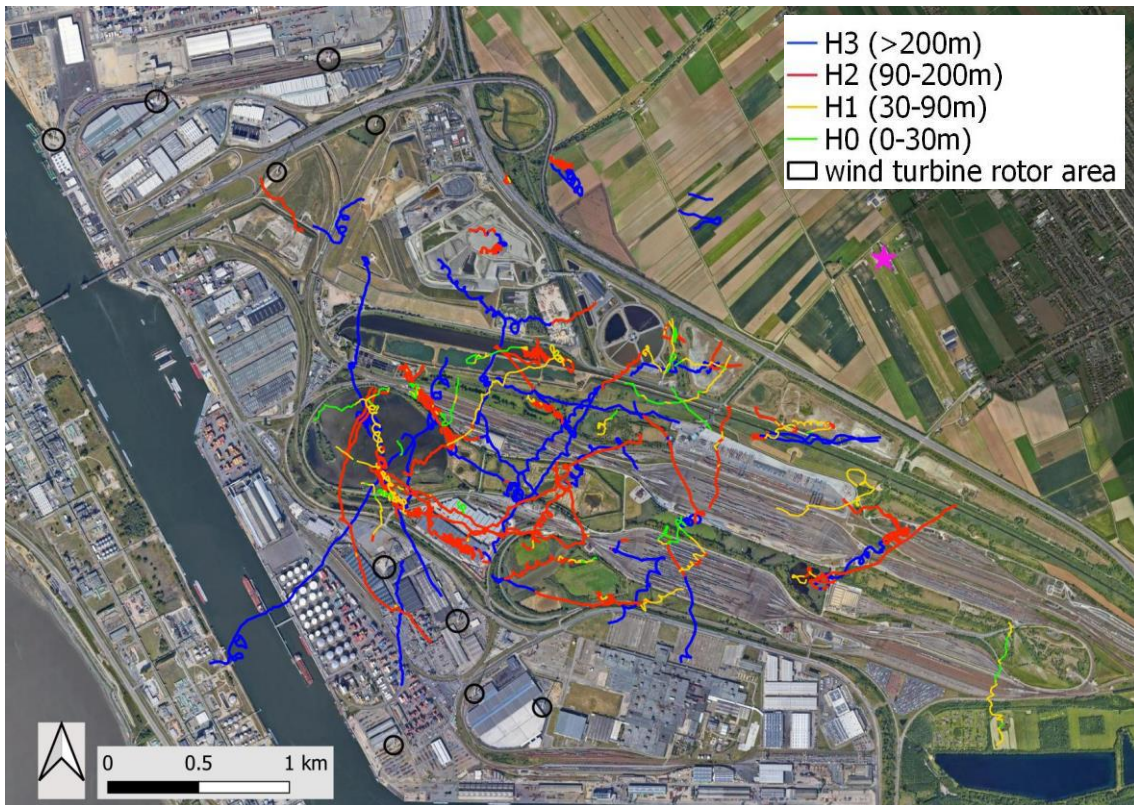
Figuur 127. Meerkoet zichtbaar met de Pulsar Accolade XP50 warmtebeeldkijker.



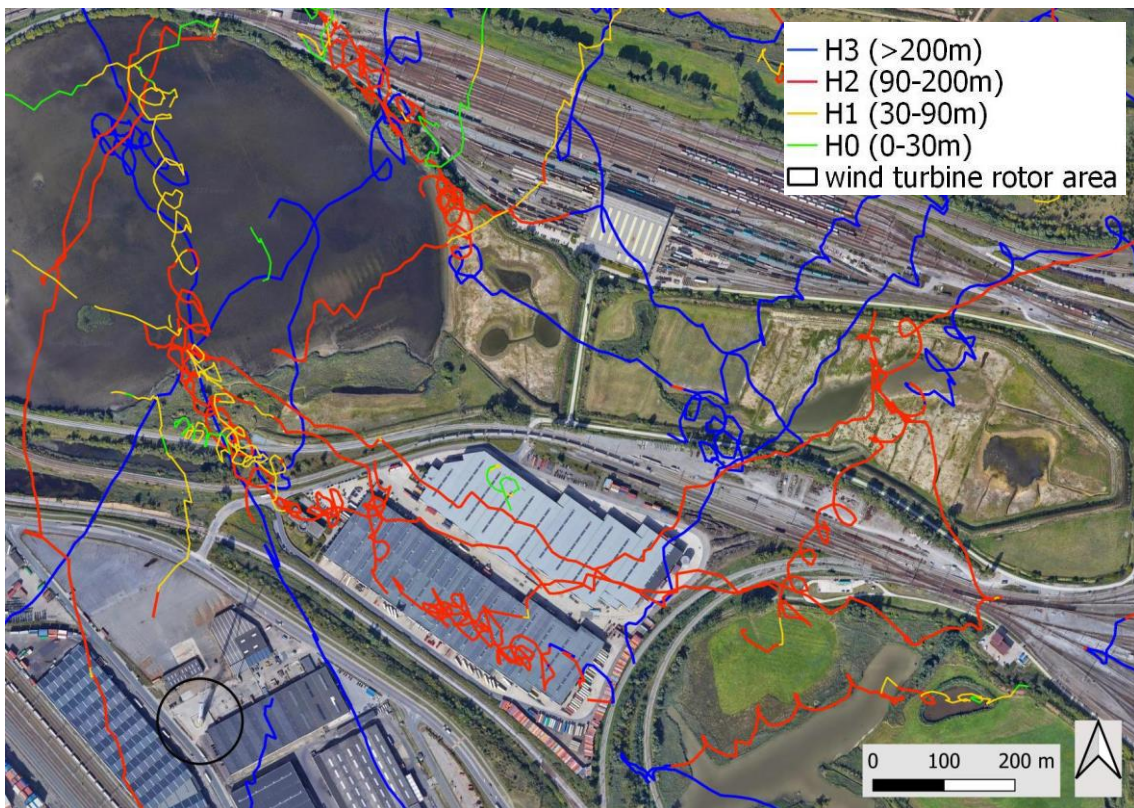
Figuur 128. Uil (mogelijk velduil) nabij windturbine, met de Pulsar Accolade XP50 warmtebeeldkijker.





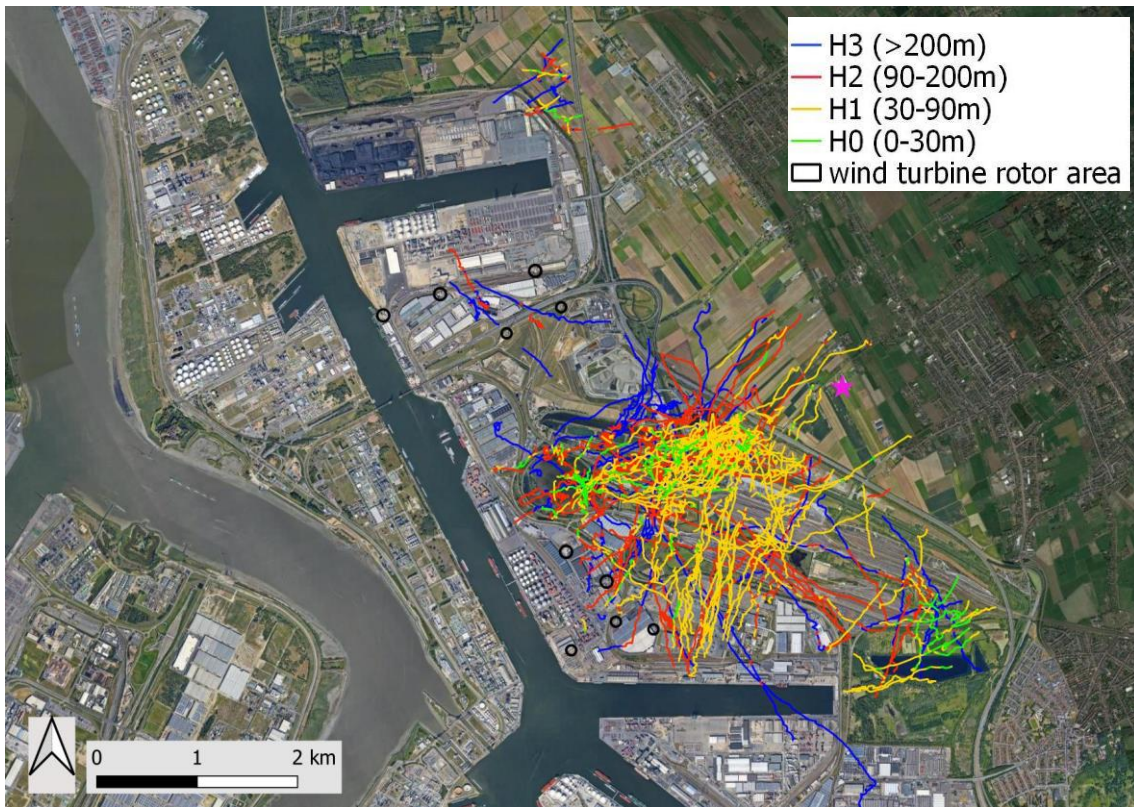


Figuur 129. Gevalideerde tracks van roofvogels (vooral buizerd, ook sperwer, slechtvalk, torenvalk, boomvalk, visarend en uil spec).

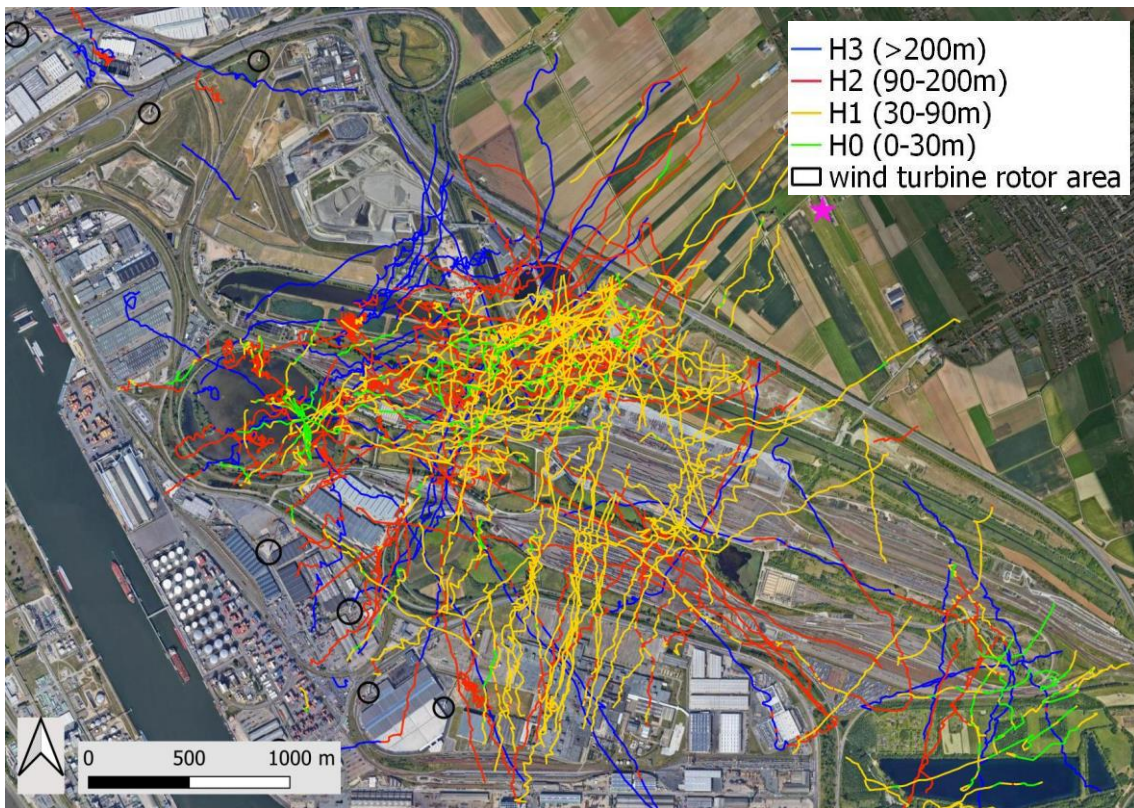


Figuur 130. Zoals figuur 129, detail van centraal deel nabij reservaat De Kuifeend en ten oosten ervan.





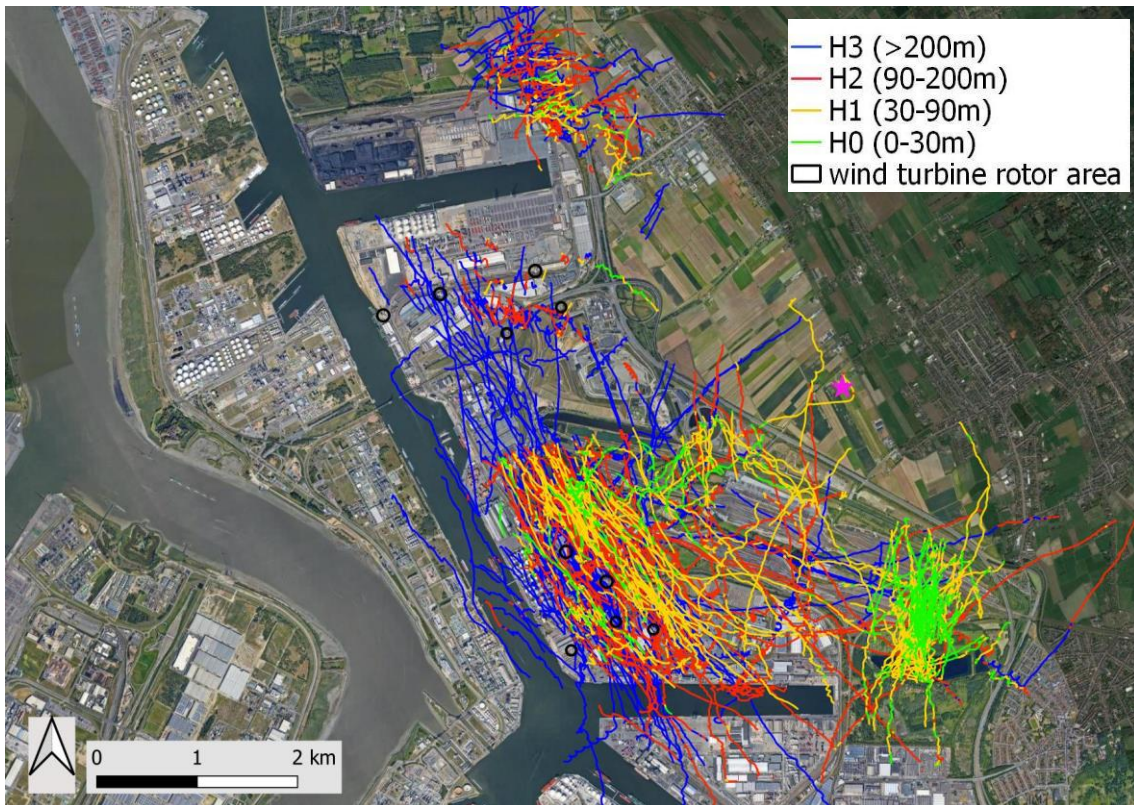
Figuur 131. Gevalideerde tracks van kleine meeuwen (kokmeeuw, stormmeeuw, zwartkopmeeuw).



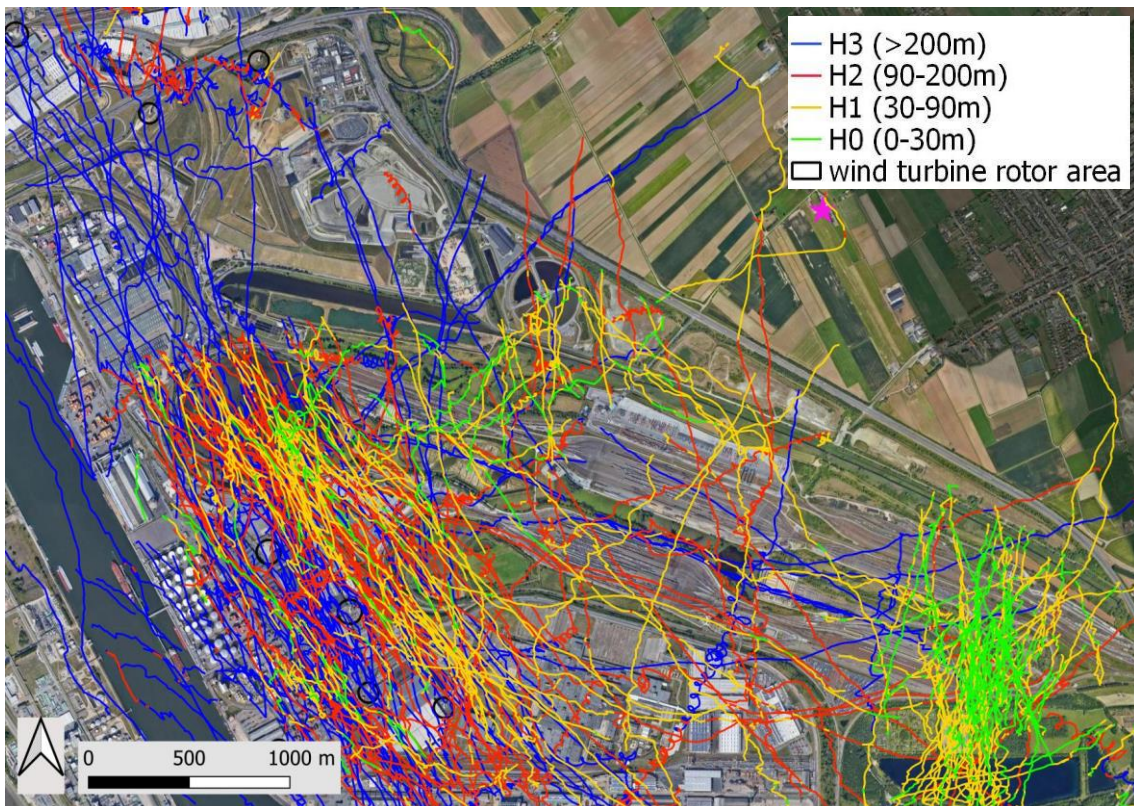
Figuur 132. Zoals figuur 131, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.







Figuur 133. Gevalideerde tracks van grote meeuwen (zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw).

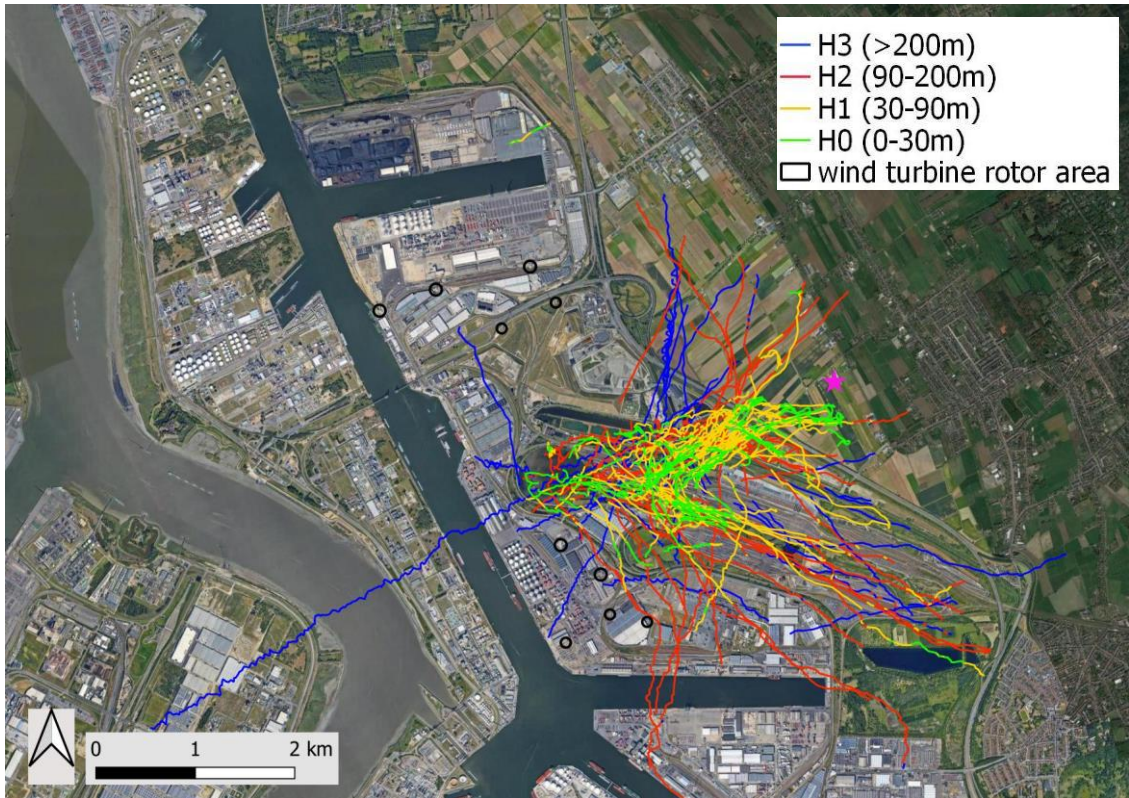


Figuur 134. Zoals figuur 133, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.

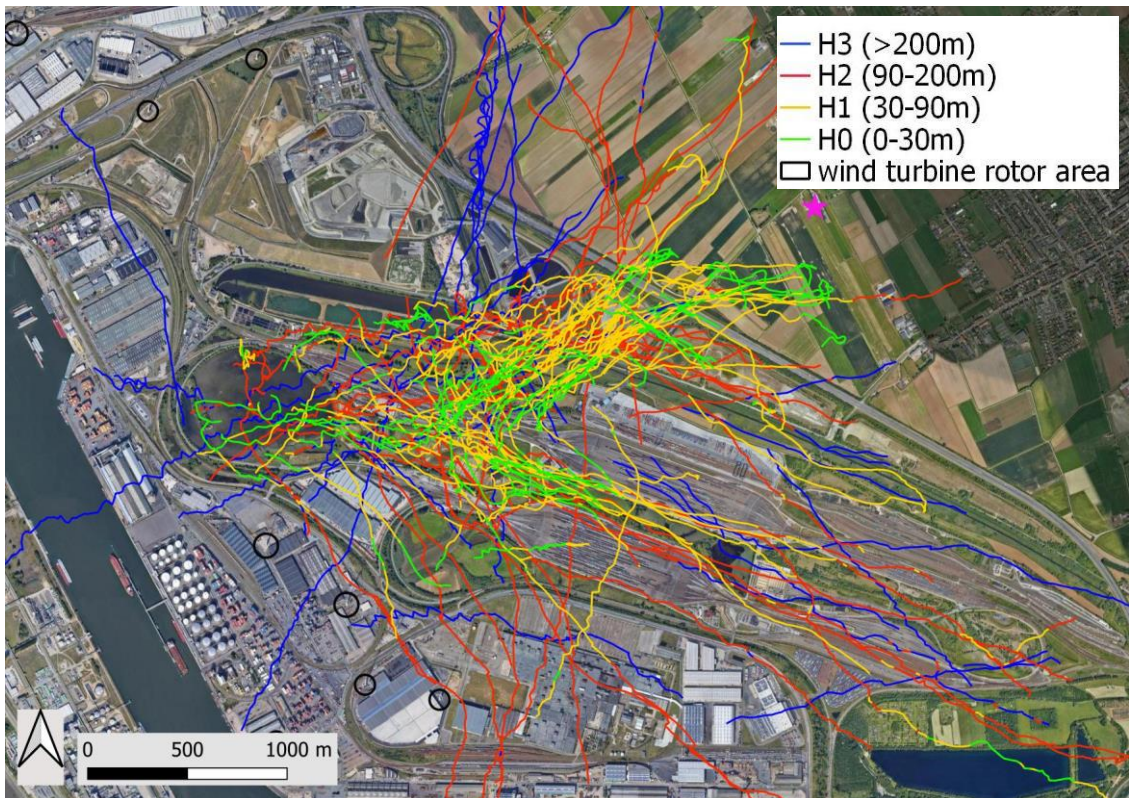






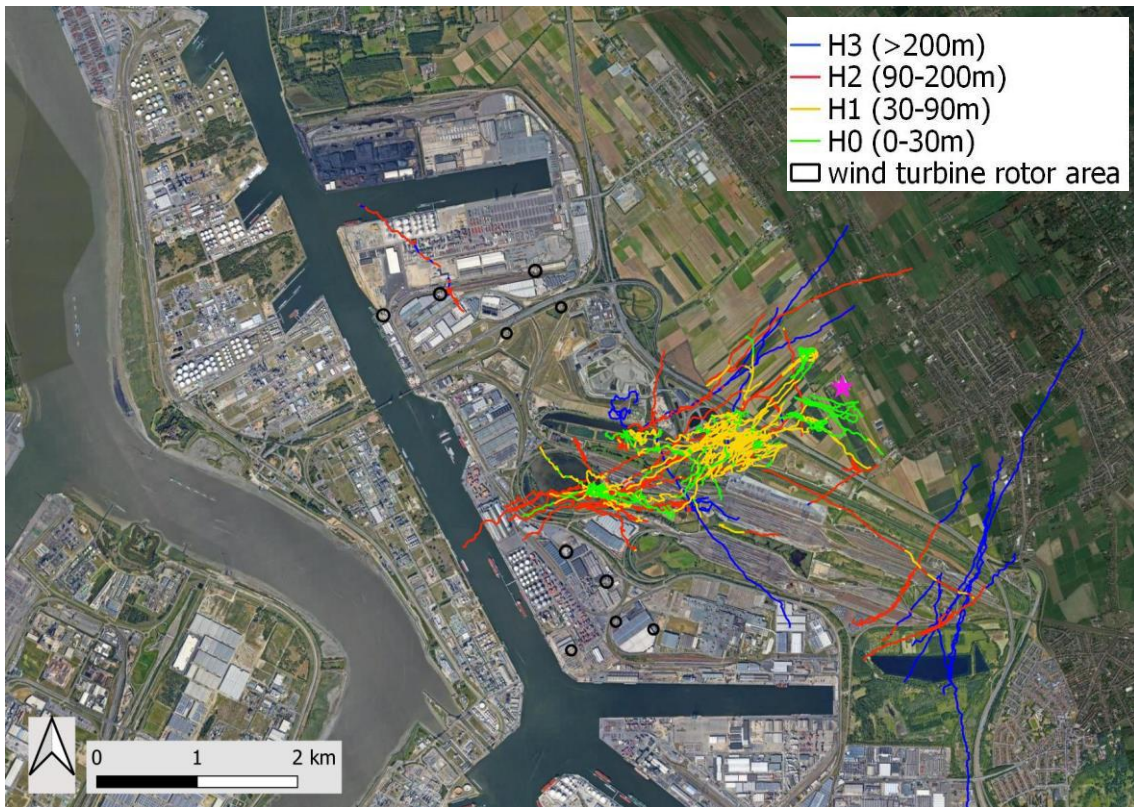


Figuur 137. Gevalideerde tracks van eenden (vooral smient, wilde eend, eend spec, ook kraakeend, slobeend). Hier zitten zeker voor smient ook verschillende tracks van groepen (flocks) bij. De bewegingen vanuit/naar de Ettenhovense polder maar ook vanuit/naar andere richtingen incl. Scheldezone en Linkeroever zijn hier opvallend.

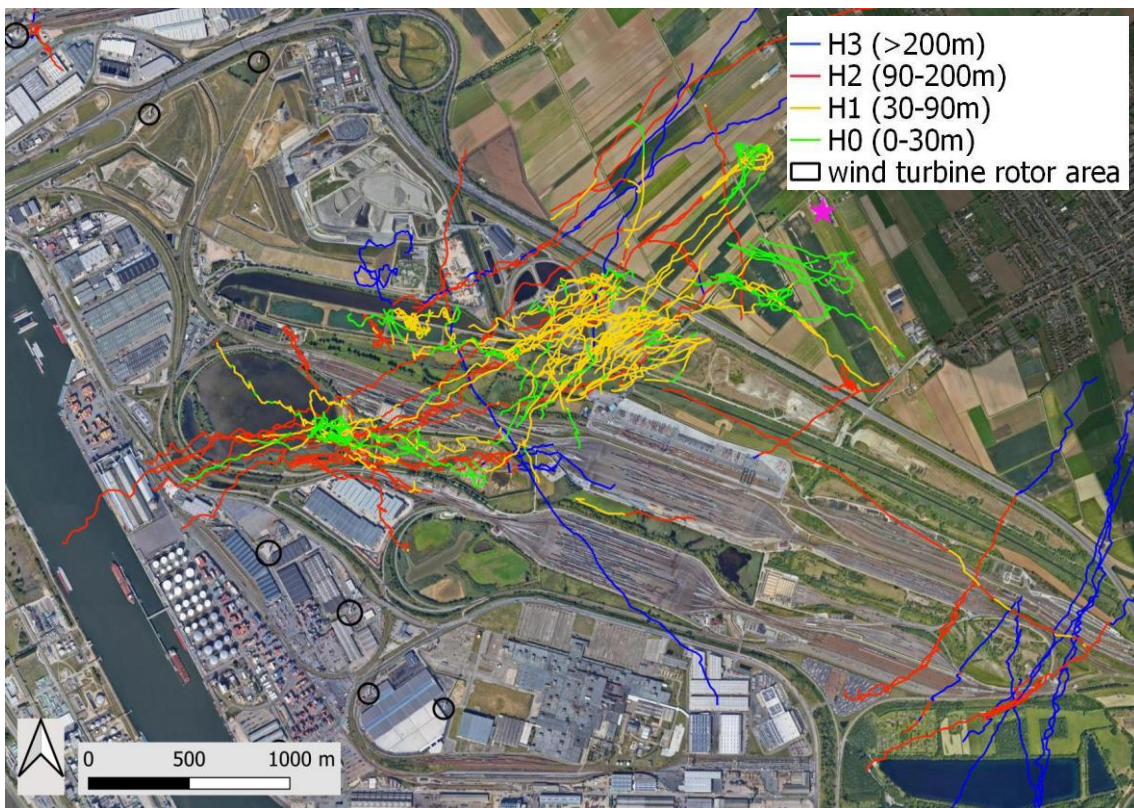


Figuur 138. Zoals figuur 137, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.





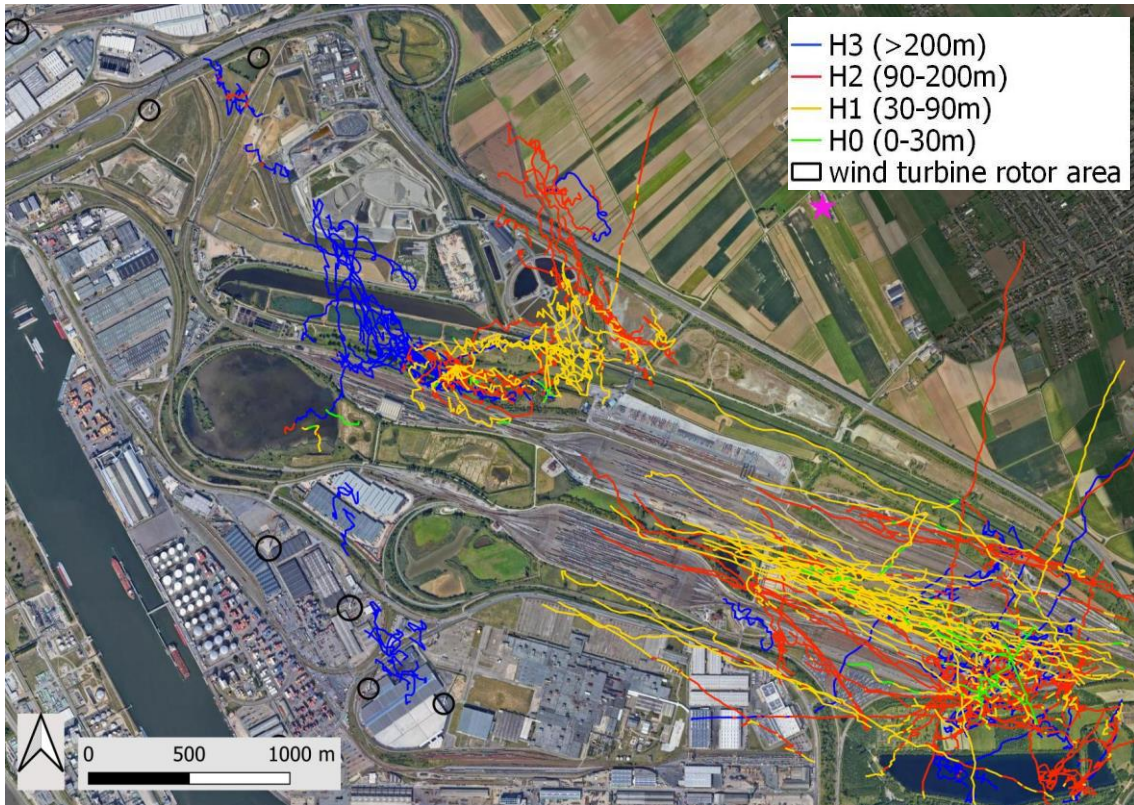
Figuur 139. Gevalideerde tracks van kievit (zowel individuele als groepen). De bewegingen vanuit/naar de Ettenhovense polder en zone rond de Schelde zijn hier het meest opvallend.



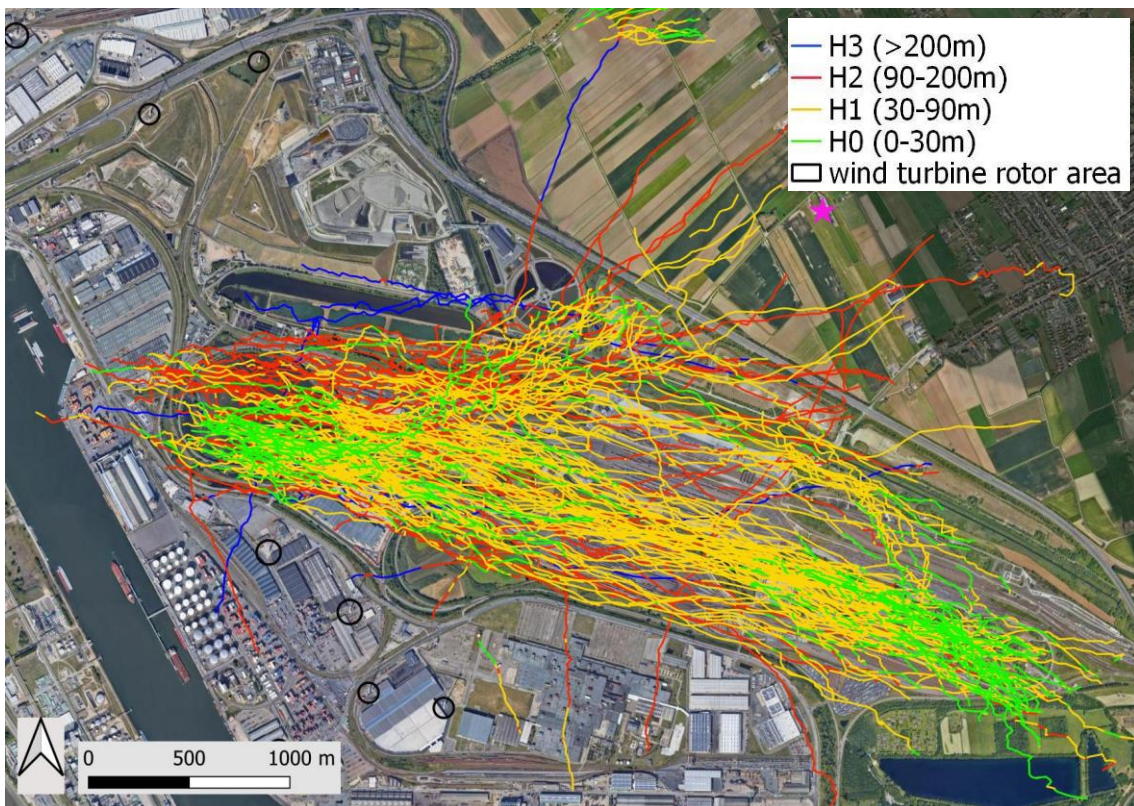
Figuur 140. Zoals figuur 139, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.







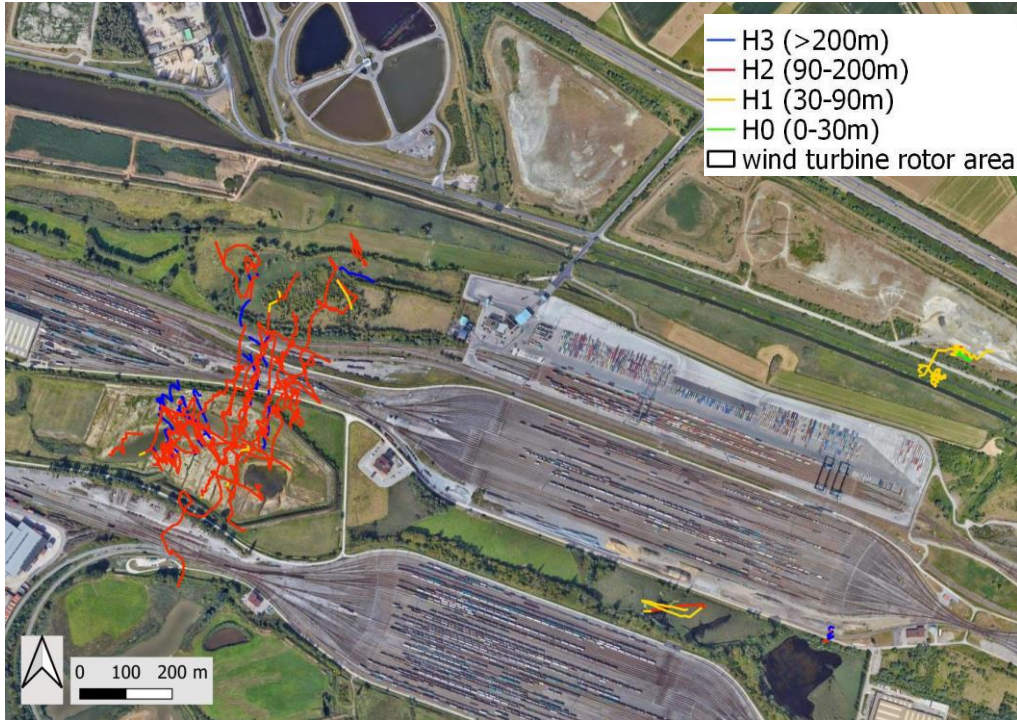
Figuur 141. Gierzwaluw, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied. Er is veel beweging (o.a. in de avond) richting ZO boven het Rangeerstation, maar ook foeragerend op grote hoogte zowel boven de natuurzones als industrie incl. nabij windturbines.



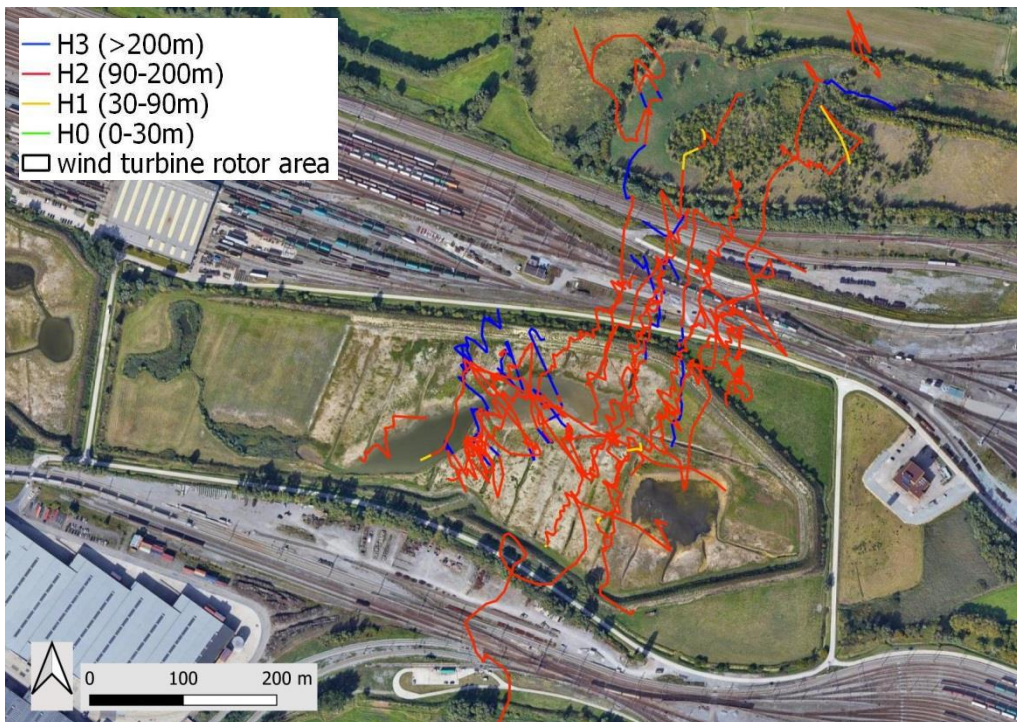
Figuur 142. Houtduif, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied, deels door avondtrek.



Tijdens één validatiesessie op een vrij warme avond met weinig wind, konden ook verschillende foeragerende grote vleermuizen tot op relatief grote hoogte (> 90 m) worden gevalideerd op ongeveer 2 km van de radar (figuur 143 en 144). Wellicht betroffen dit allemaal rosse vleermuizen. Enkele keren kon tegelijk met batdetector ook effectief rosse vleermuis worden waargenomen, maar in de meeste gevallen werd de validatie gedaan met de warmtebeeldkijker (vorm, grootte, typisch vlieggedrag).



Figuur 143. Verschillende ook hoogvliegende foeragerende grote vleermuizen op 17 september (relatief warm en weinig wind), wellicht (vrijwel) allemaal rosse vleermuis.



Figuur 144. Zoals figuur 133, detail van gevalideerde vleermuizen boven de binnenweilanden.

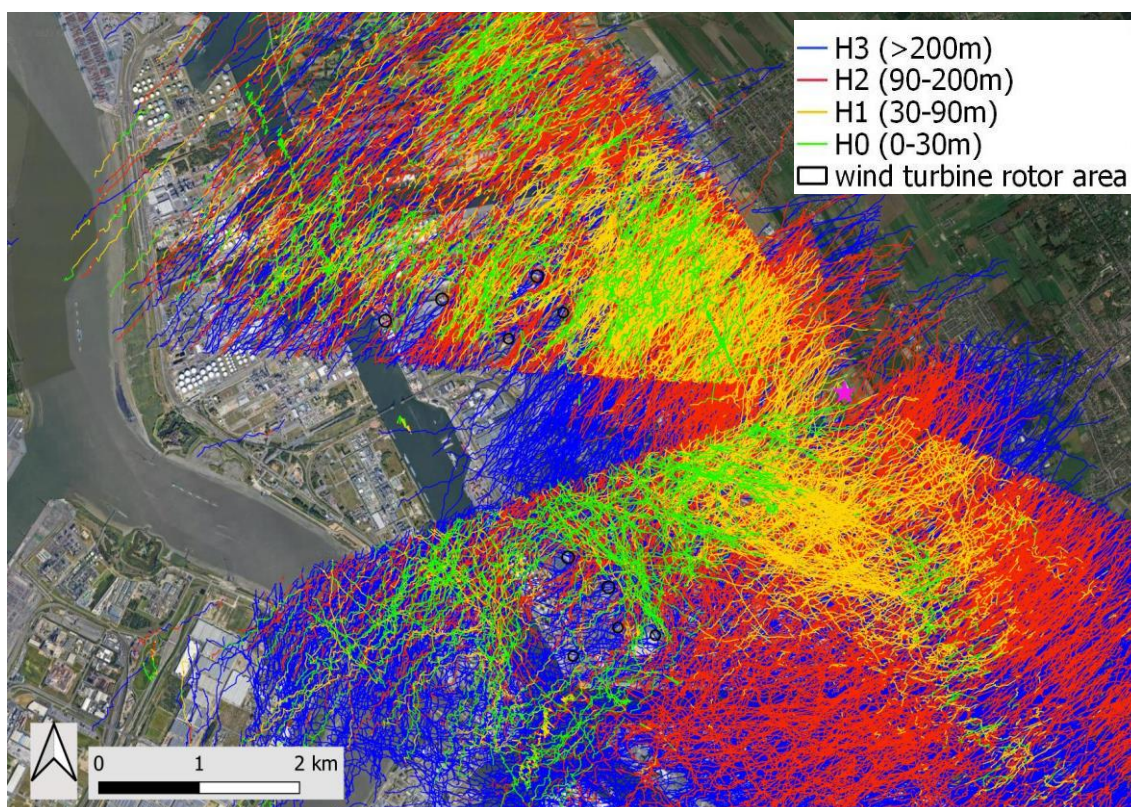




## 9.2.2 Opvallende vliegbewegingen van vogels

Met onderstaande figuren bespreken we enkele voorbeelden van opvallende vliegbewegingen van vogels uit selecties op de volledige database van de radar, op basis van de door de radar ingedeelde vogelklassen.

Op 7 februari was er van verschillende soorten opvallende 'sneeuwtrek' in zuidwestelijke richting boven Vlaanderen, o.a. grote aantallen Kieviten. Dit fenomeen is ook zichtbaar op de radarbeelden, zowel op lage als grote hoogtes (figuur 145). Het 'schaduw-effect' door de groep bomen dichtbij de radar is ook hier duidelijk te zien (zie bespreking in hoofdstuk 8).



Figuur 145. Sneeuwtrek richting ZW van middelgrote vogeltracks (min. 1 km) op 7 februari 2021.

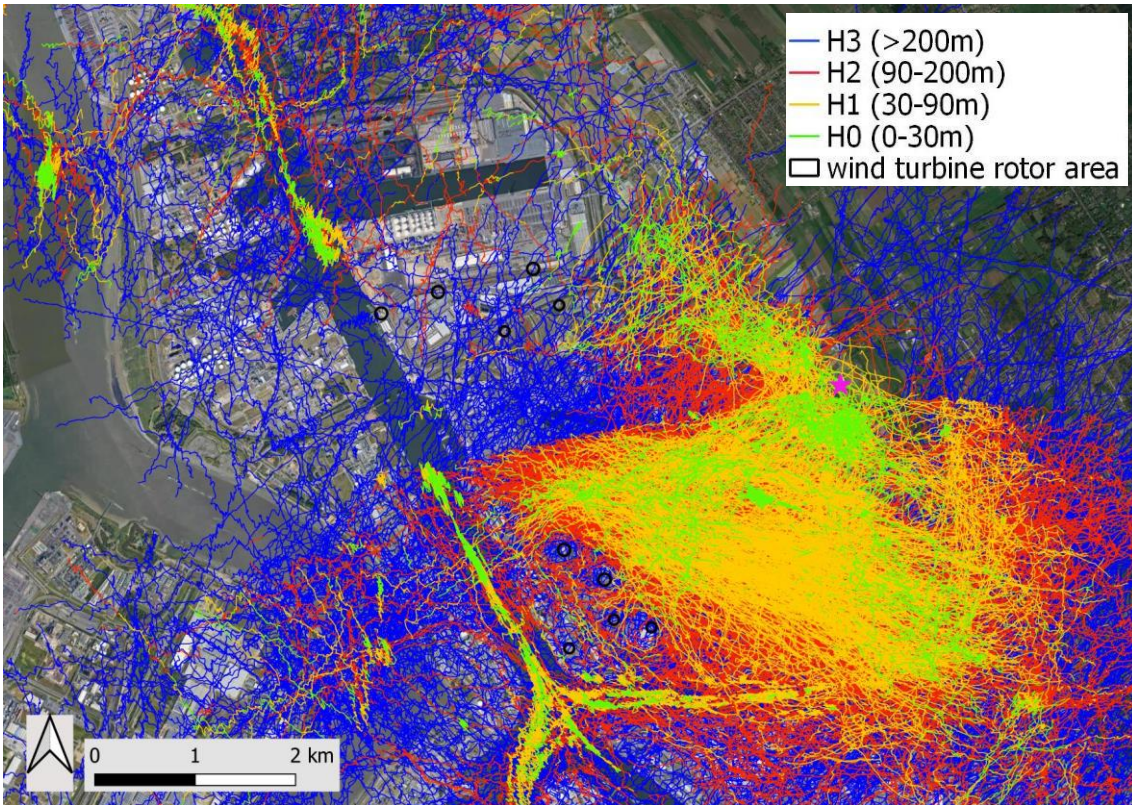
In de figuren 146-147 zijn alle gedetecteerde groepen vogels (flocks) zichtbaar gemaakt uit de periode januari tot december 2021, met selectie van enkele lange tracks (>2km) tussen 16u en 23u. Het probleem van slecht zicht op lagere hoogtes in de bewuste schaduwzone achter de groep bomen dichtbij de radar is ook hier duidelijk te zien, zelfs dus voor groepen vogels.

Aangezien de radar slechter ziet naarmate de afstand tot de radar groter wordt, is dat verschil ook hier te zien (dichterbij meer detecties van tracks op lagere hoogte).

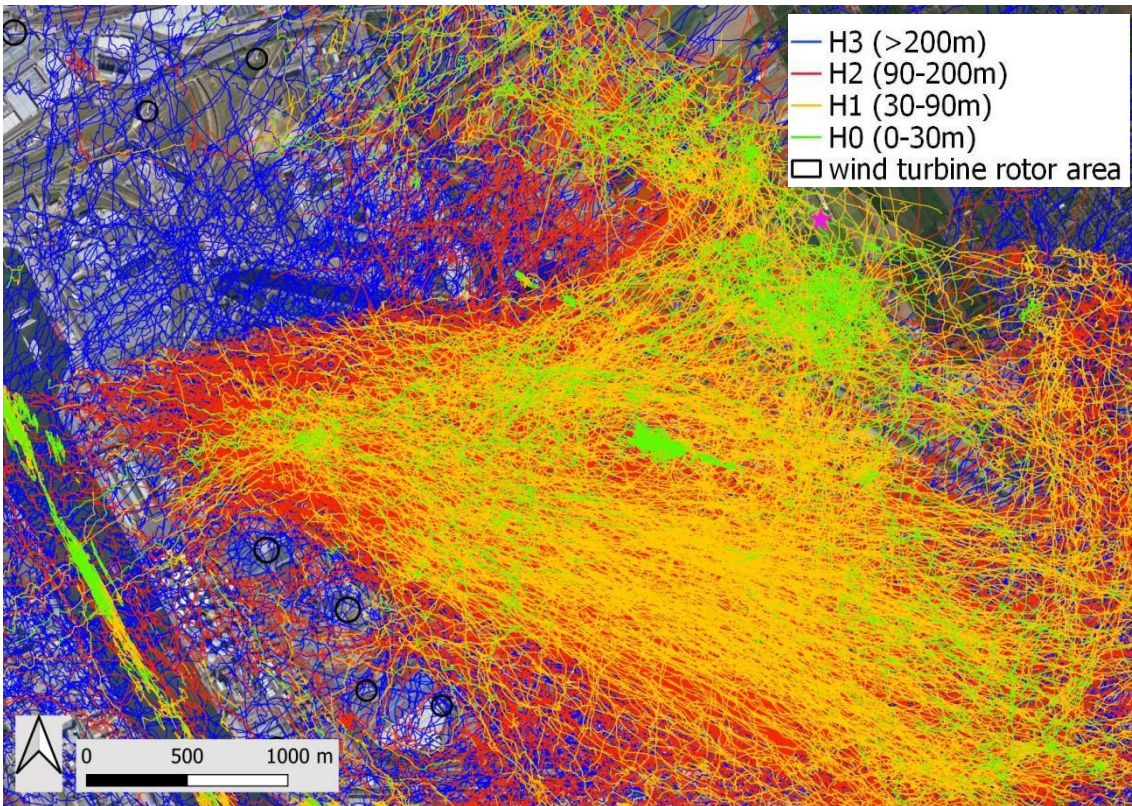
Ook het (gedeeltelijk) uitwijkgedrag van vogels op rotorhoogte dichtbij de windturbines, is in de onderstaande voorbeelden zichtbaar.

In de figuren zijn verder ook vrijwel zeker valse vogeltracks te zien omwille van grote schepen op de kanaaldokken en Schelde. Dit kan best nog bevestigd worden door validaties.





Figuur 146. Vogelgroepen (flocks), januari-december, selectie: 16-23u met tracklengte van min. 2 km.



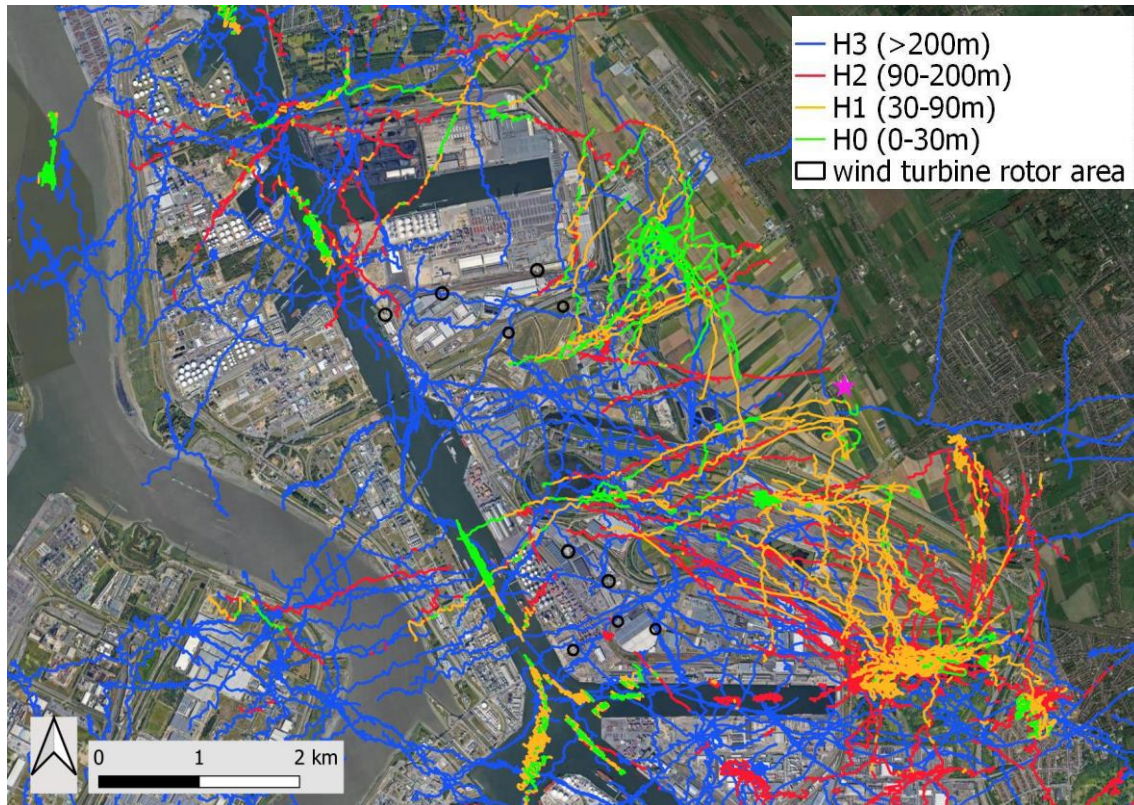
Figuur 147. Zoals figuur 146, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.





Om een beter beeld te krijgen van regelmatig optredende vliegbewegingen en de specifieke vliegroutes tijdens avonden in de winterperiode, werd als voorbeeld een verdere selectie gemaakt van groepen vogel enkel in de maand februari (figuur 148). Hieruit komen al bepaalde patronen van mogelijk veelgebruikte vliegroutes, die ook al werden opgemerkt bij de bespreking van de gevalideerde vogeltracks (zie 9.2.1).

Een meer diepgaande analyse kan meer duidelijkheid brengen. Maar ook hier vormen (wellicht) valse vogeltracks door grote schepen een belangrijk aandachtspunt.

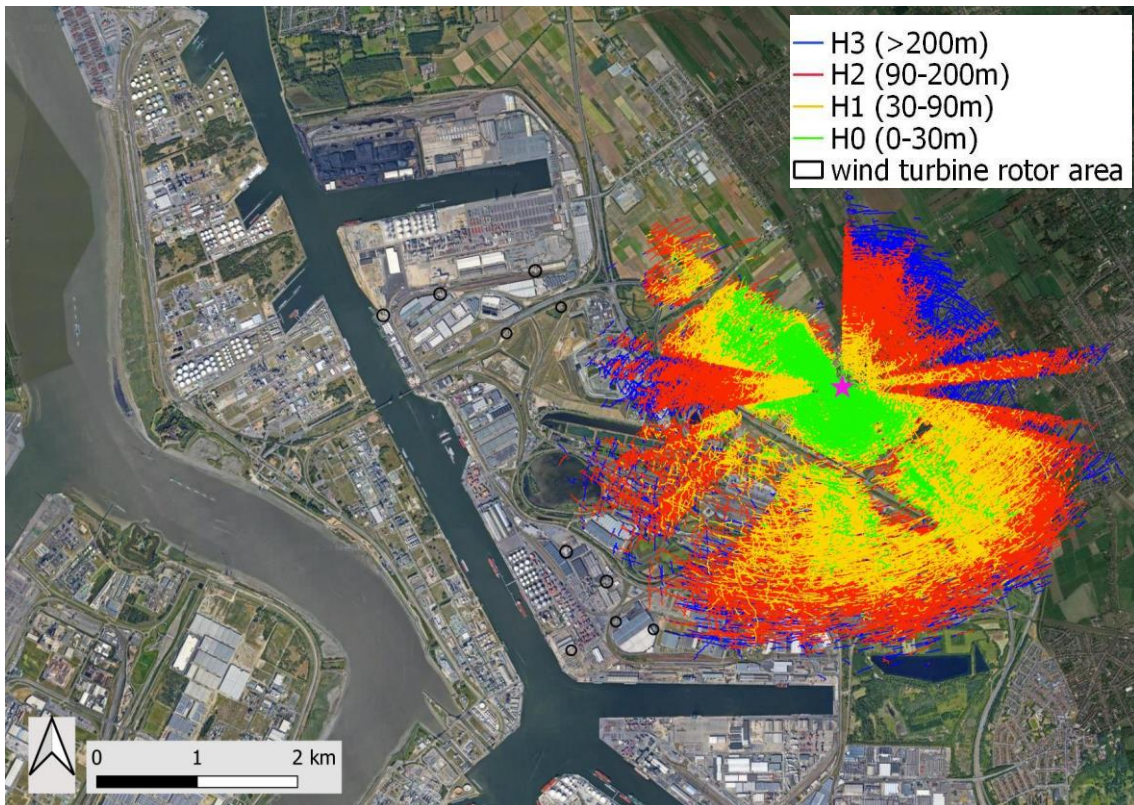


Figuur 148. Vogelgroepen (flocks), februari, selectie: 16-21u met tracklengte van min. 2 km. Op basis van gevalideerde tracks weten we dat dit deels groepen eenden en ganzen (smient, grauwe gans) en kieviten betreft, en deels ook sneeuwtrek (begin feb, zie verder).

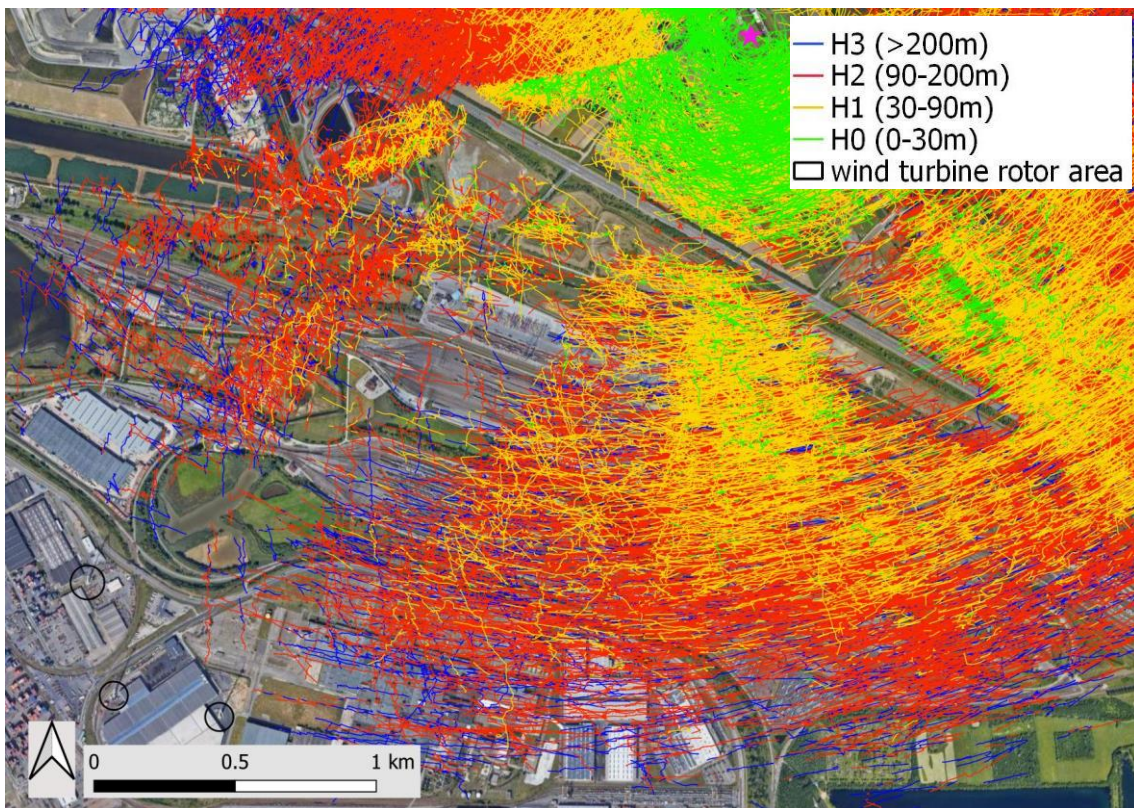
Na het invallen van de duisternis werd op 17 september tijdens een validatiesessie de start van opvallende nachtelijke zangvogeltrek opgemerkt, waardoor in een groot deel van het focusgebied continu vogeltracks verschenen met automatische classificatie kleine vogels ('small bird') en insecten ('insects'). Deze trek was zeer duidelijk zichtbaar op grote hoogtes (rotorhoogte en hoger) maar ook op lage hoogtes, zelfs tot 0-30 m dichtbij de radar. Vaak werd in 'real time' deze automatische classificatie bij een langer wordende track gewijzigd. Visuele en auditieve validatie maakte duidelijk dat de 'insects' tracks ook kleine vogels betroffen. De figuren 149-150 geven hiervan een beeld voor de periode tussen 20u en 21u.

In de figuren 151-152 is een voorbeeld weergegeven van nachttrek van vogels op 15 oktober, toen door waarnemers en andere vogelradars in zowel Vlaanderen als Nederland ook veel vogeltrek werd waargenomen. De intensiteit leek toen het grootst in het noordelijk en vooral zuidoostelijk deel van het focusgebied.





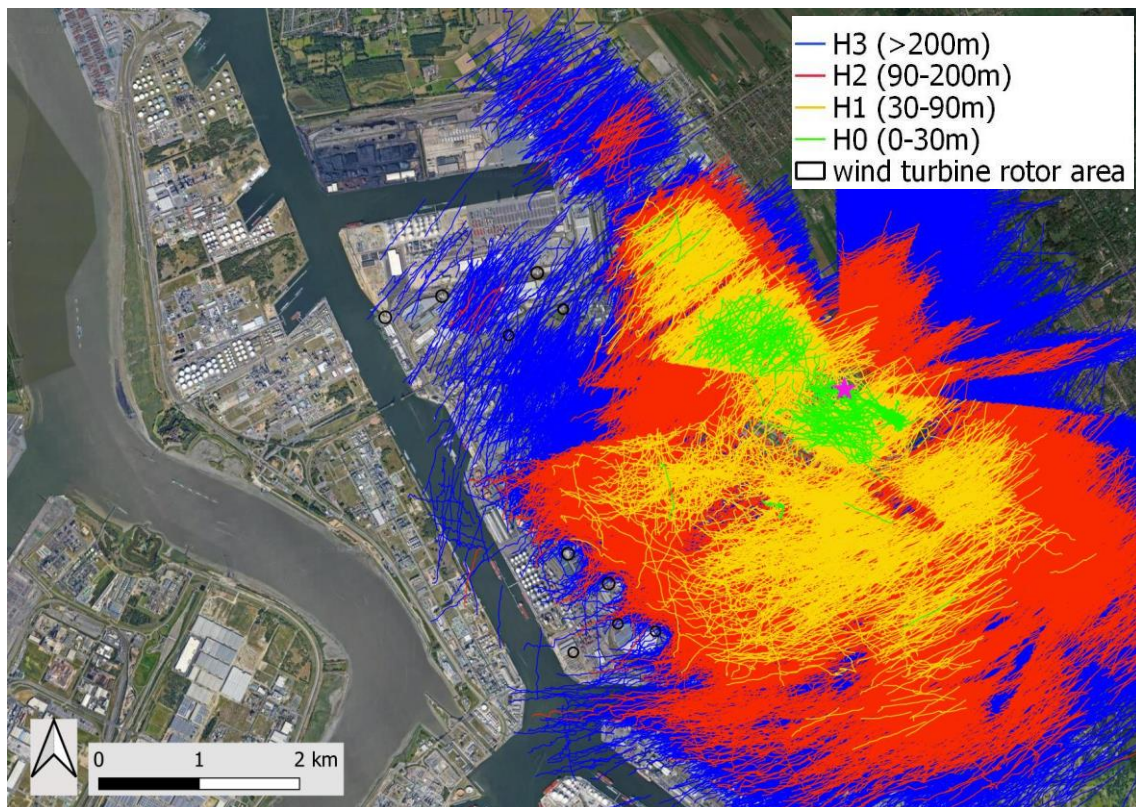
Figuur 149. Radartracks met classificatie "Insects" (min. tracklengte 100 m) op 17 september tussen 20u en 21u, duidelijk (incl. met deel validaties) het gevolg van zangvogeltrek.



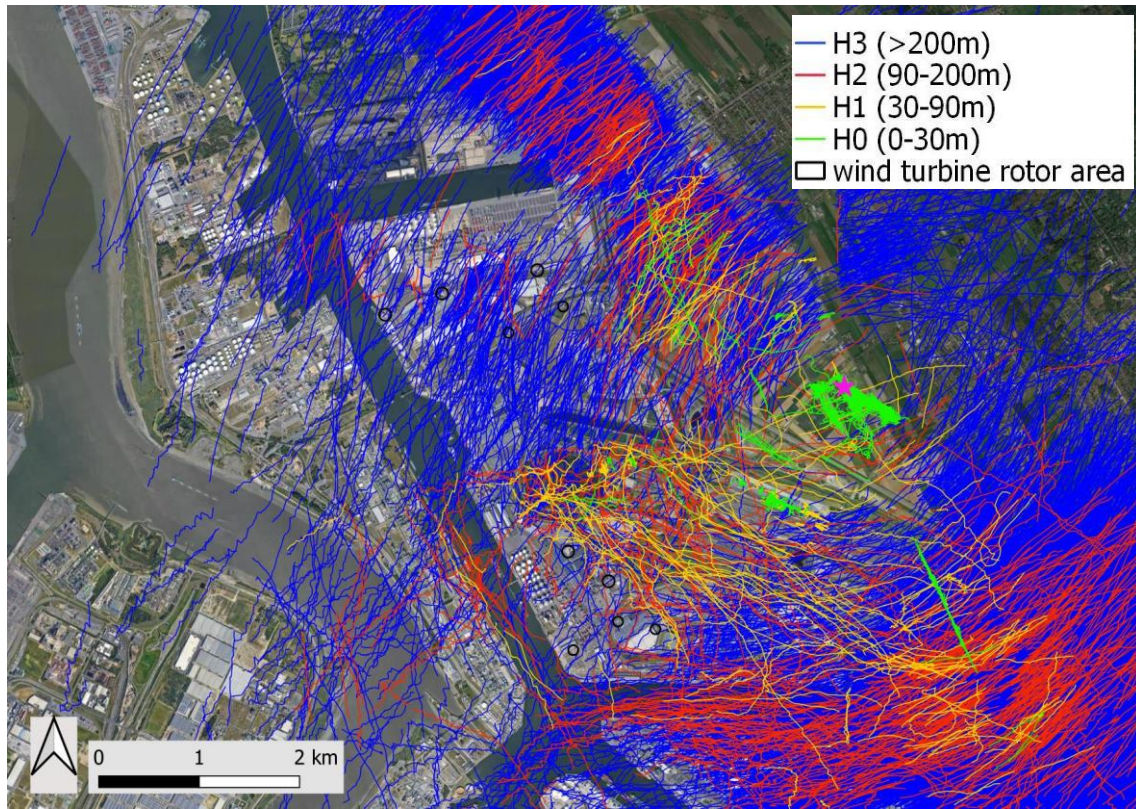
Figuur 150. Zoals figuur 149, detail van centraal en zuidelijk deel van het focusgebied.







Figuur 151. Radartracks met classificatie kleine vogels ('Small bird') (min. tracklengte 500 m) op 15 oktober tussen 18u en 22u.



Figuur 152. Radartracks met classificatie middelgrote vogels ('Medium bird') (min. tracklengte 500 m) op 15 oktober tussen 18u en 22u.

////////////////////////////////////



# 10 EVALUATIE RADARLOCATIE EN ADVIES VOOR VERDER ONDERZOEK

## Detectiecapaciteit van de radar

De capaciteit van de radar om vogels (en vleermuizen) te detecteren kan enkel bepaald worden op basis van de validatiesessies ‘visueel vs. radar’. Tijdens de meerderheid van de validatiedagen in 2021 werden ongeveer evenveel ‘visueel vs. radar’ als ‘radar vs. visueel’ sessies gehouden. Om de detectiecapaciteit nog sneller en beter te bepalen, is het aanbevolen om in de toekomst een groter aandeel ‘visueel vs. radar’ sessies te hebben, maar tegelijk uiteraard nog zoveel mogelijk radartracks te valideren op soort en aantal, zeker in geval van opvallende vliegbevingen en in het kader van specifieke vragen.

De ruimtelijk complexe havenomgeving (gebouwen, stapels containers, silo's, ...) zorgt ervoor dat de detectiecapaciteit van de radar naast de afstand tot de radar ook sterk afhankelijk is van lokale factoren en het resultaat dus ook afhankelijk is van de locatie van de radar. Dit zien we effectief in de verschillen tussen en binnen de verschillende onderzochte telcirkels. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij verdere analyses.

Voor grote groepen vogels (>4 vogels) is de detectiecapaciteit overal in het onderzoeksgebied zeer goed (alle telcirkels).

In de telcirkels 1 tot 5 is er een (zeer) goede vogeldetectie in de meest belangrijke/relevante hoogteklassen (H1-3). Toch werd opgemerkt dat vooral in telcirkel 2 ter hoogte van De Kuifeend de detectiecapaciteit wat minder is in de meest noordelijke zone. Dit komt vrijwel zeker door het ‘schaduw effect’ van een groepje bomen dicht bij de radar (zie bespreking in hoofdstuk 8) waardoor het radarzicht in het meest noordelijk deel van deze telcirkel beperkt is op lagere hoogtes (tot ca. 200 m). In de zuidelijke zone van telcirkel 2 zijn enkele gebouwen en opgestapelde containers wellicht de oorzaak van de soms (zeer lokale) mindere detectiecapaciteit.

Midden in de windturbinezone ter hoogte van telcirkel 6 is de detectiecapaciteit op lage hoogte eerder matig tot goed, maar vrij goed vanaf hoogteklaas H2 (rotorhoogte van de windturbines). Toch lijken o.a. enkele gebouwen en opgestapelde containers daar te zorgen voor verstoring en bijgevolg een minder goede detectie met een groot aandeel tijdelijk onderbroken vogeltracks. Dit tijdelijk detectieverlies werd ook meermaals ten velde vastgesteld. Er kunnen wel zeker verdere analyses worden uitgevoerd op de data in deze omgeving. Voor gedetailleerd onderzoek naar uitwijkgedrag rond windturbines, is het aangeraden de radar uit te testen op andere locaties waar het zicht misschien nog optimaler is.

In de noordelijke telcirkels 7 en 8 is de vogeldetectie matig tot slecht voor de meeste gevalideerde vogelclassificaties. Zeker in telcirkel 8 zal de grotere afstand tot de radar een belangrijke oorzaak hiervan zijn. In telcirkel 7 zal naast verstoring door gebouwen ook het ‘schaduw effect’ van een groepje bomen dicht bij de radar (zie bespreking in hoofdstuk 8) een rol spelen. In telcirkel 7 blijkt er toch nog een zeer goede detectie te zijn voor grotere groepen (> 4 middelgrote vogels), ook op relatief lage hoogtes. Vermoedelijk zal dit ook het geval zijn voor telcirkel 8, waardoor in een verdere analyse voor groepen vogels in zowel telcirkel 7 als 8 wellicht nog betrouwbare uitspraken kunnen gemaakt worden voor grotere groepen van middelgrote en grote vogels.

//

## **Correctheid van automatische vogelclassificatie**

De correctheid van de automatische vogelclassificatie van de radar lijkt heel variabel te zijn. Het aandeel 'geen match' (sterk afwijkende classificatie) bij groepen van vogels (2-4 of >4) is vooral opvallend groot. Een groep vogels is natuurlijk complex omdat zo'n groep vaak continu wijzigt van formatie waardoor de radar op een bepaald moment een dichte groep detecteert en classificeert en op het andere moment bijvoorbeeld (ook) enkele individuele vogels. De visuele validatie werd echter op een specifiek moment gedaan, terwijl de radar de betreffende vogeltracks verder volgt en daar dan uiteindelijk een classificatie aan geeft. Het is hierdoor dus te moeilijk om hierover nu al uitspraken te doen, maar dit kan nader onderzocht worden.

Het aantal punten (plots) waaruit een vogeltrack bestaat, dus de tijd waarbinnen de radar de vogel kon blijven volgen, lijkt geen belangrijke invloed te hebben op de correctheid van de automatische classificatie. Langere tracks vertonen met de beschikbare data wel iets meer variatie dan kortere tracks (zowel vaker onjuist als juist geclassificeerd). Nader onderzoek met een groter aantal validaties is aangeraden. Maar relatief korte tracks kunnen waar mogelijk dus ook nuttig zijn om mee te nemen in verdere analyses, hoewel het verwijderen van valse vogeltracks (vaak ook relatief korte tracks) hier kan meespelen in de keuze.

Wat opvalt is dat de radar individuele vogels vaak één klasse te klein classificeert (bijvoorbeeld grote vogel als middelgrote vogel, en kleine vogel of vleermuis als insect). Het is aanbevolen om deze voorlopige vaststelling te vergelijken met validatieresultaten op andere onderzoekslocaties (bijvoorbeeld het samenvoegen tot een grote database) en in geval van een algemeen fenomeen stappen te zetten om de algoritmes van het radarsysteem te optimaliseren.

## **Valse vogeltracks**

Globaal lijkt de radar voldoende betrouwbaar en zeer bruikbaar voor gedetailleerd onderzoek naar vliegbewegingen en uitwijkgedrag. Op specifieke locaties aan bepaalde grote gebouwen en aan de bewegende grote kranen in de noordoostelijke rand van het rangeerstation werden tijdens de validaties echter regelmatig valse vogeltracks gezien. Op zulke locaties bestaat een reëel gevaar om verkeerde conclusies te trekken. Er werd in de meer diepgaande eerste verkenning van de data (hoofdstuk 6) getracht om bepaalde parameters te identificeren die valse vogeltracks in de database op automatische wijze kunnen verwijderen. Bij zulke automatische kwaliteitscontrole is het van groot belang om een evenwicht te vinden tussen het terecht verwijderen van valse tracks en het onterecht verwijderen van juiste tracks. Door bijvoorbeeld alle relatief korte tracks te verwijderen, zouden inderdaad veel valse tracks uit de data verdwijnen, maar zouden ook heel veel echte vogeltracks worden verwijderd. In een volgende analyse zal verder gezocht worden naar een optimaal evenwicht.

Valse vogeltracks omwille van hoogspanningslijnen werden met uitzondering van een hoogspanningspyloon tijdens de validatiesessies nauwelijks gezien. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de hier gebruikte indeling in hoogteklassen niet optimaal is voor hoogspanningslijnen. In een volgende rapportage zal dat meer in detail worden bekeken. In hoofdstuk 7 hebben we gezien dat windturbines in sommige omstandigheden wel valse vogeltracks genereren (met classificatie grote vogel). Er zal moeten onderzocht worden op welke manier hiermee rekening kan gehouden worden voor gedetailleerde analyses van o.a. het gedrag van vogels nabij windturbines.







Kuifeend, o.a. in de richting van de Ettenhovense polder. De gevolgde routes daarbij leken zich niet of in mindere mate te situeren ter hoogte van de huidige windturbineclusters. Met een groter aantal gevalideerde radartracks in combinatie met een goede selectie van andere radartracks, kunnen specifiek voor deze vogelgroep betere uitspraken gemaakt worden over hun vlieggedrag in het havengebied.

Seizoenstrek van kleine tot middelgrote vogels werd op verschillende momenten waargenomen in alle hoogteklassen (dichtbij de radar zelfs ook op 0-30 m hoogte). De vliegbewegingen waren dan vaak overal in het havengebied zichtbaar, maar meer intense trek (grotere aantallen) leek zich vooral in het meer zuidoostelijke deel (zone Bospolder/Ekerse plas en omgeving) en noordelijke deel van het focusgebied voor te doen. Dat laatste geldt zeker voor de middelgrote vogels (in vergelijking met kleine vogels). Ook hier is nader onderzoek nodig om betere uitspraken hierover te maken incl. de hoogteverdeling.

Grote soorten vleermuizen (b.v. rosse vleermuis) die op rotorhoogte vliegen kunnen tot zeker ca. 2 km van de radar in goede omstandigheden worden gedetecteerd (zie validaties op 17 september). Om ook vleermuizen te detecteren nabij de bestaande windturbines, zou de radar dus dichterbij moeten worden geplaatst. Op momenten dat dit het geval zou zijn zou er gericht onderzoek kunnen worden overwogen waarbij op basis van het exacte uur van batdetectoropnames aan een windturbine (automatische detector in gondel) in de radardatabase kan nagekeken worden of de radar deze ook detecteerde en of de vliegroute voldoende goed kan gevisualiseerd worden.



## 11 VERDERE CONCRETE DOELSTELLINGEN EN ONDERZOEKSVRAGEN

- In 2021 werd de radar uiteindelijk nog niet verplaatst naar de tweede meer noordelijk geplande standplaats ter hoogte van het Opstalgebied (figuur 153). Dit is nu gepland in 2022. Het doel hierbij is de om detectiecapaciteit en betrouwbaarheid van automatische vogelclassificatie te vergelijken tussen de twee standplaatsen. Hiervoor moeten nieuwe validaties uitgevoerd worden, met visuele waarnemingen vanaf verschillende telpunten in het havengebied op de rechterscheldeoever, deels dezelfde telpunten als in 2021 (zeker telcirkels 7 en 8, mogelijk nog één van de telcirkels 1 en 2) en nog een drietal nieuwe telcirkels in de noordwestelijke hoek van het focusgebied. Het focusgebied kan in vergelijking met 2021 uitgebreid worden tot aan de Zandvlietsluis en kleiner gemaakt worden in het meer zuidelijk deel van het havengebied.

Hypothesen:

- Er is ook vanaf de noordelijke standplaats een goede detectiecapaciteit van vogels in (een deel van) het onderzoeksgebied (evaluatie verschillende telcirkels).
- De automatische vogelclassificatie van de radar is ook vanaf daar (mits bepaalde aannames/correcties) voldoende betrouwbaar om verdere analyses mee te doen.



Figuur 153. Zuidelijk zicht op de haven vanuit het Opstalgebied.

In 2022 is het gewenst de radar ook (tijdelijk) te testen op nog enkele andere locaties, met name indien technisch mogelijk ook eens op de hoge berm in de oostelijke rand van het havengebied aan de Poldervlietweg-Smalleweg (figuur 154) en eventueel ook nog eens centraal in het onderzoeksgebied op de heuvel aan de Hooge Maey (figuur 155).



Figuur 154. Westelijk zicht op de haven vanop de heuvelzone langs de A12-Smalleweg.





Figuur 155. Radarlocatie halverwege op de heuvel van de Hooge Maey tijdens een demonstratie in juni 2018.

Een zo optimaal mogelijke standplaats van de radar is het belangrijkste om een vogelradar maximaal zijn capaciteiten te laten benutten. Mogelijk zijn die andere radarlocaties (nog) beter om de zones met bestaande windturbines voldoende in detail te monitoren. De testen die in 2018 op de heuvel van de Hooge Maey plaatsvonden, gaven op het eerste zicht echter geen goede resultaten wegens veel storende reflecties van constructies.

- Een verdere analyse van de mogelijkheden om valse vogeltrack classificaties (niet-vogels) in met automatische data-cleaning zoveel mogelijk te identificeren om te verwijderen uit de database voor verdere analyse.

Hypothese: Valse vogeltracks van bepaalde structuren en regenbuien kunnen op betrouwbare wijze verwijderd worden voor verdere analyse.

- Het is gewenst om de regelmatig voorkomende valse vogeltracks die optreden rond gebouwen en andere structuren (o.a. de bewegende kranen en schepen, maar ook in bepaalde omstandigheden rond windturbines en een zone erachter) op basis van bepaalde eigenschappen zoveel mogelijk te kunnen verwijderen.
- Uit de eerste verkenning in 2021 blijkt dat er meer duidelijkheid nodig is over hoe de radar reageert op momenten van regen(buien) zowel ter hoogte van de standplaats van de radar als verderop.

- Eerste uitgebreide analyse van de mogelijke relatie tussen weersomstandigheden en de aantallen en vlieghoogtes van vogels. Hierbij kunnen bijvoorbeeld de momenten van regen zoveel mogelijk worden verwijderd uit de analyse (zie boven).

Hypothesen:

- De windsterkte en windrichting en misschien ook dichte mist hebben een zichtbare invloed op de vlieghoogtes van (bepaalde) vliegbewegingen van vogels.





- Een verdere verkenning en eerste analyse van specifieke onderzoeksvragen over de vliegbewegingen rond windturbines en hoogspanningslijnen.

Hypothesen:

- Vogels vertonen zichtbaar uitwijkgedrag rond windturbines en hoogspanningslijnen, en dit is mogelijk afhankelijk van de grootte van de vogel, het aantal individuen, vlieghoogte, etc.
  - Er is uitwijkingsgedrag zichtbaar op relatief korte afstand van windturbines ('micro-en/of meso-uitwijking'), op basis van een analyse van de vliegbewegingen op verschillende afstanden tot de windturbines.
  - Er kan een methode ontwikkeld worden om het percentage van uitwijking te bepalen in bepaalde weersomstandigheden, op specifieke locaties en van bepaalde soorten/soortgroepen.
  - Er kan een methode ontwikkeld worden om het aanvaringsrisico te bepalen bij windturbines. Om dit te testen zijn gegevens noodzakelijk van het aantal aanvaringslachtoffers.
- .
- Een verdere analyse van opvallende vliegbewegingen (lokale trek en seizoenstrek), inclusief 3D verkenning van vliegbewegingen en mogelijke analysemethoden om uitspraken te doen over (het gedrag van) vogelbewegingen in/nabij windturbines in het havengebied. Hiervoor worden – naast bovengenoemde hypothesen – waar mogelijk nog extra te onderzoeken hypothesen geformuleerd. We trachten voor specifieke locaties, bijvoorbeeld ter hoogte van (geplande) windturbines, ook al een eerste inschatting te maken van het aantal vliegbewegingen per tijdseenheid (flux) van bepaalde vogelklassen.



## 12 REFERENTIES

- Bouten W., Kleyheeg-Hartman J., Klop E., Potiek E., Shinneman S. & van Loon E. (2020). Haalbaarheidsstudie naar een voorspellend vogeltrekmodel en een stilstandvoorziening om vogelsterfte te beperken in Windpark Eemshaven. Integratierapport Universiteit Amsterdam, Bureau Waardenburg, Altenburg & Wymenga.
- Desholm M., Fox A.D. & Beasley P.D. (2004). Best practice guidance for the use of remote techniques for observing bird behaviour in relation to offshore wind farms. A report produced for COWRIE (Collaborative Offshore Wind Research into the Environment) consortium. COWRIE – REMOTE-05-2004.
- Everaert J. (2012). Vogel- en vleermuisonderzoek met INBO radarsysteem op windturbinelocaties. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), ISSN 1782-9054, Brussel.
- Everaert J. (2015). Effecten van windturbines op vogels en vleermuizen in Vlaanderen. Leidraad voor risicoanalyse en monitoring. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, rapport INBO.R.2015.6498022.
- Everaert J., Lodder M. & van Lieburg T. (2016). Eindrapport van de meetcampagne met een ROBIN 3D flex vogelradar voor Vleemo NV te Antwerpen, België. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) en Robin Radar Systems BV.
- Kleyheeg-Hartman J. & Potiek A. (2020). Analyse nachtelijke vogeltrek met behulp van 3D-vogelradar: Showcase Eemshaven. Resultaten najaar 2018 en voorjaar 2019. Rapportnr. 19-176. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Krijgsveld K., Fijn R., Japink M., van Horssen P., Heunks C., Collier M., Poot M., Beuker D. & Dirksen S. (2011). Effect Studies Offshore Wind Farm Egmond aan Zee - Final Report on Fluxes, Flight Altitudes and Behaviour of Flying Birds (Report No. OWEZ\_R\_231\_T1\_20111114\_flux&flight). Report by Bureau Waardenburg bv.
- Plonczkier P. & Simms I.C. (2012). Radar monitoring of migrating pink-footed geese: behavioural responses to offshore wind farm development. *Journal of Applied Ecology* 49: 1187-1194.
- Prinsen H. (2019). Using full 3D bird radar to assess bird flight behavior and collision risk in the Netherlands. Presentation. Bureau Waardenburg.
- Scottish Natural Heritage (2009a). Guidance on Methods for Monitoring Bird Populations at Onshore Wind Farms. Scottish Natural Heritage, January 2009.
- Scottish Natural Heritage (2009b). Monitoring the impact of onshore wind farms on birds - Scottish Natural Heritage, January 2009.
- Scottish Natural Heritage (2017). Recommended bird survey methods to inform impact assessment of onshore wind farms. Scottish Natural Heritage, Version 2. March 2017.