



**Vlaanderen**  
is wetenschap







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

## Resultaten van het onderzoek in 2022 tot maart 2023

Joris Everaert, Raïsa Carmen, Els Lommelen, Thierry Onkelinx, Jo Loos, Marc Van de Walle,  
Hilbran Verstraete

**INSTITUUT  
NATUUR- EN BOSONDERZOEK**

**Auteurs:**

Joris Everaert , Raïsa Carmen , Els Lommelen , Thierry Onkelinx , Jo Loos , Marc Van de Walle , Hilbran Verstraete 

**Reviewers:**

Lieve Vriens 

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:**

INBO Brussel

Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88, 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., et. al. (2023). Onderzoeksprogramma 2021-2025 voor het uitvoeren van radaronderzoek naar de effecten van windturbines op vogels en vleermuizen. Resultaten van het onderzoek in 2022 tot maart 2023. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (52). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.99959925

**D/2023/3241/411**

**Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (52)**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Hilde Eggermont

**Foto cover:**

Zicht op de Antwerpse haven. Foto door Joris Everaert



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

**Resultaten van het onderzoek in 2022 tot maart 2023**

Joris Everaert, Raisa Carmen, Els Lommelen, Thierry Onkelinx, Jo Loos, Marc Van de Walle, Hilbran Verstraete





## 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 kennisleemten gesignaleerd: we wisten te weinig van de vliegbewegingen en zo ook over de mogelijke impact op vogelpopulaties bij een verdere uitbreiding van windenergie-infrastructuur in het gebied. De Vlaamse Ecologie Energie Milieu Onderneming (VLEEMO NV) is mee verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de windturbines, en wil de hiaten rond de verdere ontwikkeling van turbines 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 werd een eerste validatie gedaan van de detectiecapaciteit van de radar voor vogels in verschillende zones binnen het aandachtsgebied op de Rechterscheldeoever in de Antwerpse haven. We deden ook een eerste verkenning van de radardata en van mogelijke methoden voor gerichte data-analyses. De resultaten van dit verkennend onderzoek in 2021 (tot begin 2022) staan in Everaert *et al.* (2022).

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. In 2021 stond de radar in de Ettenhovense Polder. De detectiecapaciteit bleek toen onvoldoende in het noordelijke deel van het aandachtsgebied (Everaert *et al.* (2022)). Daarom werd de radar in 2022 verplaatst naar het meer noordelijke Opstalgebied.

Om de datakwaliteit te testen en te verhogen voerden we net zoals in 2021 in de periode van maart 2022 tot en met maart 2023 nieuwe validatie-metingen uit op verschillende locaties in het aandachtsgebied. 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 2022-2023 bevestigden, zoals in 2021, dat het gebruikte radarsysteem mits een aantal aandachtspunten zelfs in een 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 zeer lokale factoren zoals gebouwen, kranen en bomen.

Globaal kunnen we concluderen dat de detectiecapaciteit voor vogels vanaf de standplaats van de radar in 2022-2023 voldoende tot zeer goed was in het noordelijke deel van het aandachtsgebied, behalve het meest noordwestelijke deel ter hoogte van de Zandvlietssluis. In het meer centrale tot zuidelijke deel was de detectiecapaciteit matig tot onvoldoende. Hierdoor waren (in tegenstelling tot 2021) alle zones met bestaande windturbines in het aandachtsgebied onvoldoende zichtbaar. Het feit dat de detectiecapaciteit

ook afhankelijk is van zeer lokale factoren, kan een probleem zijn bij de algemene interpretatie van de validaties per telcirkel. Dit probleem kan opgelost worden door de combinatie van een kaart met selectie van een groot aantal radartracks (ook niet gevalideerde), ingedeeld per hoogteklaase. Op die manier kunnen ook zeer lokale effecten op het radarzicht ruimtelijk zichtbaar gemaakt worden, bijvoorbeeld specifiek voor het zicht op rotorhoogte. Opvallend afgebroken 'lege' zones in het beeld, afhankelijk van de hoogteklaase, wijzen op problemen met het radarzicht. Dit kan best al na enkele weken op een nieuwe standplaats van de radar gecontroleerd worden. Sinds juli 2023 staat de radar op een meer noordwestelijke locatie in het aandachtsgebied waarbij de zone met windturbines rond de Zandvlietsluis naar verwachting wel goed zichtbaar zal zijn.

De automatische vogelclassificatie van de radar blijkt een redelijk complex gegeven te zijn. De voorlopige conclusies uit de eerste validaties in 2021 zijn in 2022-2023 bevestigd. De automatische classificatie van de radar blijkt individuele vogels vaak één klasse kleiner te classificeren dan het INBO bij het valideren van de vogeltracks. Individuele grote meeuwen (zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw) werden door de radar in een meerderheid van de gevallen als 'middelgrote vogel' geclassificeerd, en individuele kleine vogels en vleermuizen vaak als 'insecten'. In 2022-2023 werd ook meermaals vastgesteld dat de radar bijvoorbeeld kleine groepen (2-4) van grote vogels zoals ganzen ook regelmatig als één 'grote vogel' of 'middelgrote vogel' classificeerde, en kleine groepen (2-4) van middelgrote vogels zoals eenden ook regelmatig als één 'middelgrote vogel' of 'kleine vogel'. Het is aanbevolen om in samenwerking met andere gebruikers van het radarsysteem (op andere locaties) deze vaststelling meer in detail te bekijken. Op basis daarvan kunnen de classificatie-algoritmes van het radarsysteem in de toekomst wellicht geoptimaliseerd worden. Tegelijk willen we in de komende jaren ook de mogelijkheden van Artificiële Intelligentie (A.I.) verkennen voor een betere voorspelling van de automatische classificatie van de radartracks.

Op basis van een diepgaande eerste verkenning van de data, incl. beschikbare parameters die het radarsysteem verzamelt, probeerden we reeds in 2021 om 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. In 2022-2023 kon hiervoor nog geen adequate oplossing worden gevonden.

Voorlopige resultaten van de radargegevens tonen al bepaalde patronen van zones waarbinnen mogelijk meer vliegbewegingen voorkomen dan daarbuiten, zowel voor lokale broedende/overwinterende vogels als voor vogels op seizoenstrek. In combinatie met de resultaten uit 2021, toen de radar een beter zicht had op het centrale tot zuidelijke deel van het aandachtsgebied, hebben we nu een beter beeld van bepaalde patronen van trek voor het volledige aandachtsgebied. Het blijft bij de volledige radardatabase (ook niet gevalideerde vogeltracks) wel een uitdaging om selecties te maken van bepaalde momenten en vogelklassen om opvallende lokale trekbewegingen van bijvoorbeeld watervogels in kaart te brengen. Voor de seizoenstrek konden gemakkelijker bepaalde intense momenten van trek in beeld gebracht worden, mede dankzij de goedgekozen momenten van validaties zoals bijvoorbeeld de lijstertrek (vooral koperwiek) in oktober.

Als we enkel de gevalideerde vogeltracks bekijken worden toch ook al interessante patronen van zones zichtbaar waarbinnen meer vliegbewegingen voorkomen dan daarbuiten, inclusief uiteraard ook de verschillen in vlieghoogtes. Voorbeelden zijn lokale vliegbewegingen van roofvogels zoals bruine kiekendief en slechtvalk, lepelaars, meeuwen, eenden, ganzen, Kieviten, veldleeuwvinken en vleermuizen.

Bij het onderzoek op de dataset van 2021 stelden we 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 (Everaert *et al.* (2022)). In de komende jaren (2023-2025) is een meer gedetailleerde analyse gepland om het uitwijkgedrag en aanvaringsrisico te bepalen ter hoogte van windturbines. We nemen daar ook meteorologische parameters mee, en gegevens van de werking en stand van de wieken van bestaande windturbines. Het voorbereidende werk hiervoor (verkennen van de data in functie van specifieke analysemethoden) is reeds gedaan. In 2023-2024 zal een eerste statistische proefopzet uitgevoerd worden.

## 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.

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. The results of this exploration in 2021 are presented in Everaert *et al.* (2022).

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.

There are many challenges in the processing of the large dataset of bird tracks collected by the radar. 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 2021, the radar's location was located in the Ettenhovense Polder. The detection capacity then turned out to be insufficient in the northern part of the focus area (Everaert *et al.* (2022)). Therefore, in 2022 the radar was moved to the more northern Opstalgebied.

Just like in 2021, to test and improve the data quality, in the period from March 2022 to March 2023, we conducted new 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 validations in 2022-2023 confirmed, as in 2021, 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 2022-2023 was sufficient to very good in the northern part of the focus area, except for the most northwestern part near the Zandvliet water lock, but rather moderate to insufficient in the more central and southern part. This makes it difficult to perform reliable further analyses of flight movements in the central and southern part where most current wind turbines are located.

As a result (unlike 2021), all zones with operating wind turbines in the focus area were insufficiently visible, also at rotor height. The fact that the detection capacity also depends on very local factors can be a problem for the general interpretation of the results of the validations per validation circle. This problem can be solved by combining a map with a well-chosen selection of a large number of radar tracks (also non-validated ones), classified by altitude class. In this way, very local effects on the radar view can also be





## Inhoudsopgave

Dankwoord/Voorwoord . . . . .	1
Samenvatting . . . . .	2
English abstract . . . . .	4
Inhoudsopgave . . . . .	6
Lijst van figuren . . . . .	7
Lijst van tabellen . . . . .	9
1 Inleiding . . . . .	10
2 Doelstellingen . . . . .	12
3 Materiaal en methoden . . . . .	13
3.1 Materiaal . . . . .	13
3.2 Validatiemethoden . . . . .	14
4 Resultaten . . . . .	21
4.1 Uitgevoerde validaties . . . . .	21
4.2 Detectiecapaciteit van de radar . . . . .	25
4.3 Indicatie voor de detectiecapaciteit, op basis van een groot aantal radartracks . . . . .	33
4.4 Correctheid van automatische classificatie . . . . .	35
4.5 Foutieve vogelclassificatie van niet-vogels . . . . .	39
4.6 Precisie, sensitiviteit en specificiteit . . . . .	41
4.7 Methode voor 3D visualisatie en analyse . . . . .	45
4.8 Voorbeelden van gevalideerde vogel- en vleermuistracks . . . . .	47
4.9 Combinatie met gevalideerde vogeltracks in 2021 . . . . .	57
4.10 Opvallende vliegbewegingen met selectie van alle radartracks . . . . .	62
5 Toekomstig onderzoek . . . . .	67
5.1 Statistische proefopzet . . . . .	67
5.2 Technische uitdagingen . . . . .	71
5.3 Soort(groep)herkenning met hulp van Artificiële Intelligentie . . . . .	71
Referenties . . . . .	72





Figuur 4.20	Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H3. . . . .	32
Figuur 4.21	Detectiecapaciteit in de telcirkels en hoogteklasse. . . . .	33
Figuur 4.22	Alle tracks met auto-classificatie "medium bird" in mei 2022 met minimumlengte 100 m. In werkelijkheid zijn dit vooral individueel vliegende middelgrote en grote vogels, vooral meeuwen. . . . .	34
Figuur 4.23	Zones met slecht zicht op rotorhoogte H2 (90-200 m) voor tracks met auto-classificatie "medium bird" (in werkelijkheid vooral middelgrote en grote vogels, vooral meeuwen). . . . .	34
Figuur 4.24	Correctheid van classificatie per hoogteklasse (n = 5889). . . . .	35
Figuur 4.25	Correctheid van classificatie per gevalideerde klasse (n = 5889). . . . .	37
Figuur 4.26	Vergelijking van automatische classificatie door het radarsysteem (legende rechts) per gevalideerde vogelklasse op alle hoogtes (n = 5889). . . . .	37
Figuur 4.27	Percentage van aantal (vrij) correcte vogelclassificaties ('match' en '± match') in relatie tot het aantal punten (plots) in de vogeltracks in hoogteklassen H1-3 (min. 10 tracks per plotwaarde). . . . .	38
Figuur 4.28	Boxplot figuur met het percentage van aantal (vrij) correcte vogelclassificaties ('match' en '± match') in relatie tot het aantal punten (plots) in de vogeltracks in hoogteklassen H1-3 (min. 10 tracks per plotwaarde), manueel opgesplitst in 2 groepen (zeer korte tracks met minder dan 25 plotpunten vs. de langere tracks). . . . .	39
Figuur 4.29	Procentueel aantal foutieve classificaties als een vogel (alle validatieklassen) in de verschillende telcirkels en daarbuiten, ten opzichte van het totaal aantal foutieve classificaties. . . . .	40
Figuur 4.30	Valse vogeltracks tijdens de validaties in juni 2022 - maart 2023. 'NA' zijn extra validaties niet vanaf de vaste telpunten . . . . .	41
Figuur 4.31	Confusion matrix. . . . .	43
Figuur 4.32	Accuraatheid in de verschillende telcirkels voor de verschillende klassen. De lijn toont de precisie, sensitiviteit en specificiteit in de volledige dataset (over alle telcirkels). . . . .	44
Figuur 4.33	Accuraatheid op de verschillende hoogtes voor de verschillende klassen. De lijn toont de precisie, sensitiviteit en specificiteit in de volledige dataset . . . . .	45
Figuur 4.34	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. . . . .	46
Figuur 4.35	Omzetting van track met gemiddelde hoogtewaarde naar opgesplitste track. . . . .	46
Figuur 4.36	Gevalideerde roofvogels in juni 2022 - maart 2023, per soort zonder indeling op basis van hoogteklassen . . . . .	47
Figuur 4.37	Gevalideerde buizerds in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	48
Figuur 4.38	Gevalideerde bruine kiekendieven in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	48
Figuur 4.39	Gevalideerde slechtvalken in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	49
Figuur 4.40	Alle gevalideerde kleine meeuwen in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	50
Figuur 4.41	Alle gevalideerde grote meeuwen in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	50
Figuur 4.42	Alle gevalideerde eenden in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	51
Figuur 4.43	Alle gevalideerde ganzen in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	51
Figuur 4.44	Alle gevalideerde Kieviten in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	52
Figuur 4.45	Alle gevalideerde lepelaars in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	52
Figuur 4.46	Alle gevalideerde houtduiven in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	53
Figuur 4.47	Alle gevalideerde kauwen in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	54
Figuur 4.48	Alle gevalideerde veldleeuweriken in juni 2022 - maart 2023 . . . . .	54
Figuur 4.49	Gevalideerde tracks van de zangvlucht van een veldleeuwerik op 29 maart 2023 . . . . .	55
Figuur 4.50	Alle gevalideerde zwaluwen ter hoogte van het Opstalgebied en omgeving in 2022 . . . . .	55
Figuur 4.51	Alle gevalideerde vliegmuizen ter hoogte van het Opstalgebied in 2022 . . . . .	56
Figuur 4.52	Alle gevalideerde roofvogels in 2021 - 2023 . . . . .	57
Figuur 4.53	Alle gevalideerde kleine meeuwen in 2021 - 2023 . . . . .	58
Figuur 4.54	Alle gevalideerde grote meeuwen in 2021 - 2023 . . . . .	58



Figuur 4.55	Alle gevalideerde eenden in 2021 - 2023 . . . . .	59
Figuur 4.56	Alle gevalideerde ganzen in 2021 - 2023 . . . . .	59
Figuur 4.57	Alle gevalideerde kieviten in 2021 - 2023 . . . . .	60
Figuur 4.58	Alle gevalideerde houtduiven in 2021 - 2023 . . . . .	60
Figuur 4.59	Alle gevalideerde kauwen in 2021 - 2023 . . . . .	61
Figuur 4.60	Alle gevalideerde zwaluwen in 2021 - 2023 . . . . .	61
Figuur 4.61	Weergave van alle 'Flock' tracks (vaak groepjes van meeuwen en watervogels) in januari en februari 2023 in de avondperiode tussen 18u en 21u. . . . .	63
Figuur 4.62	Weergave van alle 'medium bird' tracks (vaak individuele meeuwen en watervogels) in februari 2023 in de avondperiode tussen 18u en 21u. . . . .	63
Figuur 4.63	Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks van 19 tot 25 januari 2023 met minimumlengte 100 m, in de avondschemering en na het invallen van de duisternis tussen 17u30 en 20u, waarvan een groot deel watervogels, kauwen en houtduiven. . . . .	64
Figuur 4.64	Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks op 19 januari 2023 met minimumlengte 100 m, in de avondschemering en na het invallen van de duisternis tussen 17u en 20u, waarvan een groot deel watervogels en houtduiven. . . . .	65
Figuur 4.65	Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks op 19 oktober 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de vroege ochtend tussen 8u en 9u, waarvan een groot deel lijsters (vooral koperwiek). . . . .	65
Figuur 4.66	Weergave van alle 'small bird' radartracks op 8 augustus 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de late avond en nacht tussen 22u30 en 23u30, wellicht vrijwel allemaal kleine zangvogels. . . . .	66
Figuur 4.67	Weergave van alle 'Insects' radartracks op 8 augustus 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de late avond en nacht tussen 22u30 en 23u30, wellicht vrijwel allemaal kleine zangvogels. . . . .	66
Figuur 5.1	Bovenaanzicht van de proef- en controlevlakken bij cluster CDN . . . . .	68
Figuur 5.2	Grafische weergave de tranformatie van een databank met tracks naar een analyse-databank met punten. . . . .	68
Figuur 5.3	Een willekeurig spatiaal patroon op een proef- of controle vlak (links) en een hypothetisch niet-willekeurig patroon dat bijvoorbeeld door een windturbine verklaard zou kunnen worden (rechts). . . . .	69
Figuur 5.4	Mogelijkheid om met gevalideerde radartracks A.I. de soorten(groep) in de volledige radardatabase automatisch te classificeren (Rosa et al. 2016). . . . .	71

## Lijst van tabellen

Tabel 4.1	Aantal validaties per soort in juni 2022 - maart 2023 (excl. valse vogeltracks). . . . .	24
Tabel 4.2	Aantal keer ieder type soort geobserveerd werd. . . . .	36
Tabel 4.3	Foutieve automatische classificaties als vogels. . . . .	40
Tabel 4.4	Fictief voorbeeld van een confusion matrix. . . . .	42
Tabel 4.5	Accuraatheid van de radar per klasse . . . . .	42

# 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 kennisleemten vastgesteld 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 kennisleemten 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. 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 volgde het oordeel dat een zendvergunning hierdoor onmogelijk was. Net daarvoor kon voor dergelijk ‘3D flex’ radarsysteem nog een zeer tijdelijke testzendvergunning 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 het radarbereik 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 meer details in Everaert *et al.* (2022)). 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, stelde VLEEMO een samenwerking met het INBO voor. Dit werd op 1 juli 2020 vastgelegd in een samenwerkingsovereenkomst (SWO). Zo kon het INBO het onderzoek mee vorm geven, eraan meewerken en erover publiceren. Het onderzoek met gemeenschappelijke doelstellingen is zo een win-win voor beide partijen.

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 de kennisleemten rond de verdere ontwikkeling van windturbines in het havengebied zoveel mogelijk weg te werken. Het innovatief radaronderzoek moet een beter beeld geven 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.

De eerste resultaten van het verkennend onderzoek in 2021 zijn weergegeven in Everaert *et al.* (2022). Visuele validaties ten velde zijn en blijven een belangrijk onderdeel van het radaronderzoek (Figuur 1.1).



Figuur 1.1: Beeld van een validatiemoment met veld-tablet in de omgeving van de radar.



## 2 DOELSTELLINGEN

Hieronder volgen de doelstellingen van het onderzoek zoals gepresenteerd in het voorliggend rapport.

1. Vanaf midden maart 2022 zijn nieuwe validatiemetingen uitgevoerd voor het bepalen van de detectiecapaciteit en betrouwbaarheid van automatische vogelclassificatie van het radarsysteem met nieuwe radar standplaats in het Opstalgebied. Een deel van de telcirkels is hetzelfde als deze van het onderzoek in 2021. Dit laat een vergelijking toe met de resultaten vanaf de standplaats in de Ettenhovense polder. In tegenstelling tot de resultaten van het onderzoek in 2021 (Everaert *et al.* (2022)) worden de resultaten vanaf nu gepresenteerd vanuit een automatische verwerking van de validatiegegevens (R Markdown project). In 2022-2023 wordt het radarzicht bij voorkeur ook (tijdelijk) getest vanaf nog enkele andere locaties. Een zo optimaal mogelijke standplaats van de radar is immers het belangrijkste om de capaciteiten van een vogelradar maximaal te benutten.
  - Hypothesen hierbij: 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.
2. 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) vogels in/nabij (geplande) windturbines in het havengebied. Hiervoor kunnen ook de rardata van 2021 deels worden meegenomen.
3. Een verdere verkenning en mogelijk eerste analyse van specifieke onderzoeksvragen over de vliegbewegingen rond windturbines en hoogspanningslijnen. Hiervoor kunnen indien nodig (ook) de rardata van 2021 worden meegenomen.
  - Hypothesen hierbij: 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.

## 3 MATERIAAL EN METHODEN

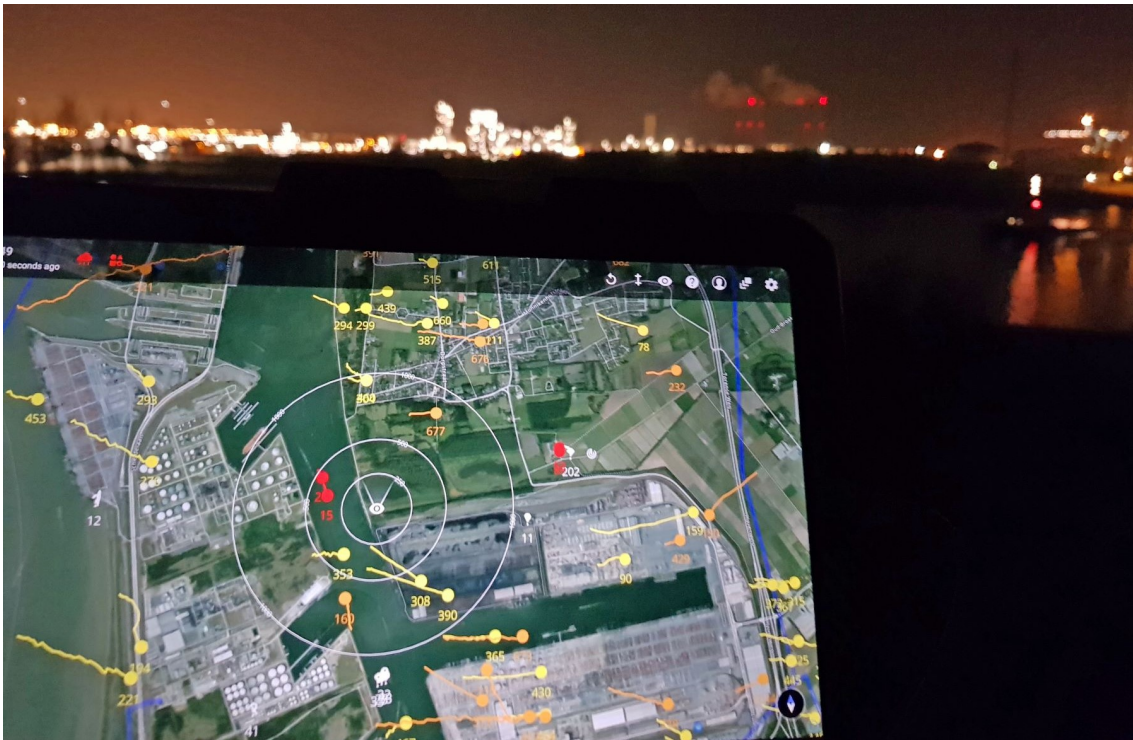
### 3.1 MATERIAAL

Tijdens de visuele tellingen (validatiemetingen) werd overdag gebruik gemaakt van verrekijkers (bijkomend soms een telescoop). Tijdens de duisternis werd steeds een warmtebeeldkijker met opnamefunctie en afstandsmeter ingezet (PULSAR Accolade XP50 thermal imaging binoculars), soms bijkomend ook een restlichtversterker-nachtkijker (generatie 3 ITT Night Enforcer 5000). Het gebruik van een warmtebeeldkijker is een pluspunt om bijkomende informatie te verkrijgen over de soortensamenstelling en groepsgrootte van nachtelijk overvliegende vogels zoals eenden en ganzen (Figuur 3.1). Met een restlichtversterker-nachtkijker kunnen overvliegende vogels en vleermuizen moeilijker op afstand onderscheiden worden.



Figuur 3.1: Nachtbeeld van drie overvliegende grauwe ganzen met de Pulsar warmtebeeldkijker.

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 (Figuur 3.2, zie ook verder).



Figuur 3.2: Beeld van een validatiemoment in de duisternis. De door de radar gedetecteerde vogels worden weergegeven door gekleurde bolletjes (huidige locatie vogels, incl. weergave vlieghoogte) en daaraan gekoppelde streepjes (gevolgde 'track'). Het oog incl. buffers errond toont de locatie van de waarnemer (voor validatie)

Het gebruikte 'ROBIN 3D Max' radarsysteem is een 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 ('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. Een meer gedetailleerde classificatie is in ontwikkeling.

### 3.2 VALIDATIEMETHODEN

De validatiesessies werden doorgaans uitgevoerd vanaf 5 vaste telpunten verspreid in het onderzoeksgebied (telcirkels 7-11, zie verder), zodoende uitspraken te kunnen doen over de detectiecapaciteit van de radar in deze verschillende zones, en correctheid van de automatische classificatie door de radar. Binnen een buffer van 1 km werden zowel kleine als grote vogels gevalideerd, voor grote vogels was dit tot ongeveer 1,5 km. Bijkomend werden ook extra validaties uitgevoerd vanaf andere punten, vooral gericht op soortherkenning (zie verder).

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), Plonckier & Simms (2012), Prinsen (2019), Bouten et al. (2020), Kleyheeg-Hartman & Potiek (2020). Een minimaal aantal van 36 uur per halfjaar (bijvoorbeeld winterperiode) is aanbevolen.

Bij de uitgevoerde validatiemetingen (volledige sessies en enkel voor soortbepaling) komen we van maart 2022 tot maart 2023 uit op ruim 220 teluren. Met het dataverlies in maart tot mei 2022, waren er nog steeds ruim 145 teluren (Figuur 3.3).

<b>datum</b>	<b>periode van de dag</b>
15/03/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
16/03/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)
18/03/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)
24/03/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
25/03/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
14/04/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
27/04/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
4/05/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)
1/06/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
15/07/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
20/07/2022	ochtend (ca. 4u), enkel online regenbuien check
22/07/2022	avond (ca. 4u), enkel online regenbuien check
26/07/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
28/07/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
1/08/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
8/08/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)
2/09/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
22/09/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
11/10/2022	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
19/10/2022	vroege ochtend tot late namiddag (ruim 10u)
19/01/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
8/02/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 10u)
21/02/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
3/03/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
15/03/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 9u)
29/03/2023	namiddag + avond + eerste deel nacht (ruim 8u)

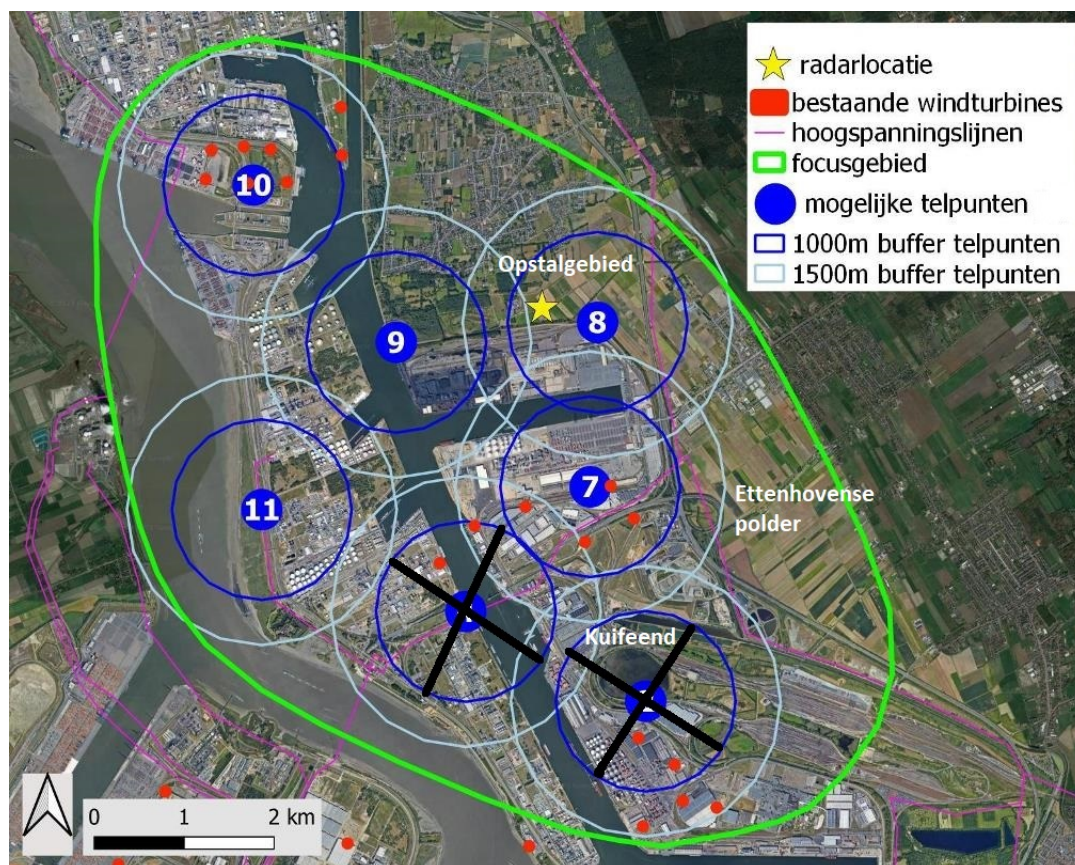
Figuur 3.3: Data en duur van de validatiesessies van maart 2022 tot en met maart 2023. Bij de in rode kleur weergegeven data zijn alle validaties verloren gegaan (zie tekst).



Figuur 3.4 geeft het focusgebied in 2022-2023 weer. Tijdens het radaronderzoek in 2021 stond de radar in de Ettenhovense polder in Stabroek. In het noordelijk deel van het focusgebied in 2021 bleek het radarzicht voor vogels hierbij matig tot onvoldoende (Everaert *et al.* (2022)). De radar bleef tot februari 2022 actief vanuit de Ettenhovense polder (in maart grotendeels buiten gebruik).

Op 15 maart 2022 werd de radar verplaatst naar het Opstalgebied (Figuur 3.5). Voor deze standplaatsen werden dan de nieuwe validaties uitgevoerd om o.a. de detectiecapaciteit van de radar te testen (zie verder). Andere standplaatsen (aanvankelijk aangeraden door INBO) werden uiteindelijk niet getest in de periode 2022 tot het voorjaar 2023.

Aanvankelijk werd gepland om voor het onderzoek (vanaf maart 2022) ook de telcirkels 2 en 4 mee te nemen in de validatiemetingen, maar al snel bleek dat het radarzicht daar duidelijk onvoldoende was (zie ook verder).



Figuur 3.4: Focusgebied in 2022 met weergave van de telpunten 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). De eerder geplande telcirkels 2 en 4 werden uiteindelijk niet meegenomen voor de validaties in 2022 (doorkruist in de figuur).

Met de ROBIN ‘mobile viewer’ toepassing op 2 veld-tablets, kunnen de door de radar gedetecteerde vogels als tracks in ‘real time’ worden gevolgd. 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).





Figuur 3.5: ROBIN 3D Max radar op de standplaats in het Opstalgebied vanaf maart 2022.

### 3.2.1 Vaste validatiesessies

De methode van de vaste validatiesessies is gebaseerd op deze van het verkennend onderzoek met een ROBIN 3D flex radarsysteem in 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 recent onderzoek met de ROBIN 3D Max radar werd in 2021 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 toen 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. Dit werd dan ook toegepast tijdens het onderzoek in 2021 (Everaert *et al.* (2022)) en opnieuw in 2022-2023.

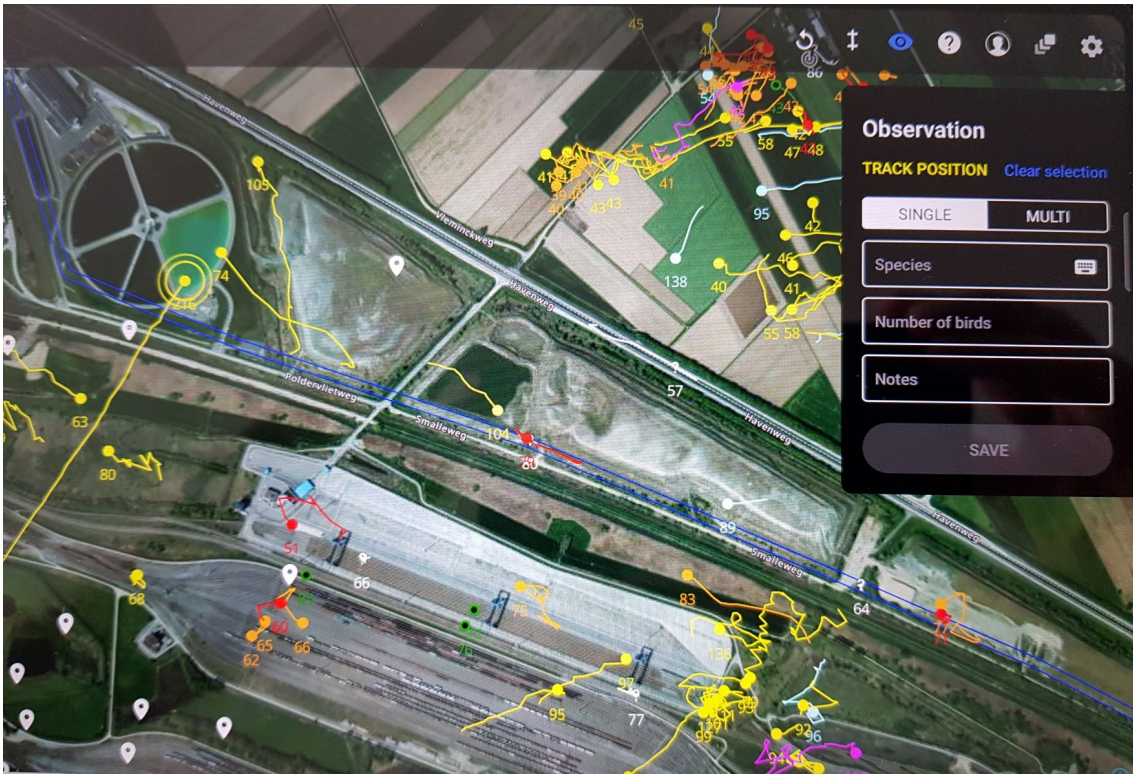
#### 3.2.1.1 Visueel vs. Radar = v sessie

Hierbij wordt in eerste instantie 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. Uiteraard is er voor alle gevalideerde tracks steeds ook informatie over de soort. De waarnemer zoekt eerst visueel in het veld naar vogels binnen de telcirkel, waarna gekeken wordt of de radar deze ook detecteert.

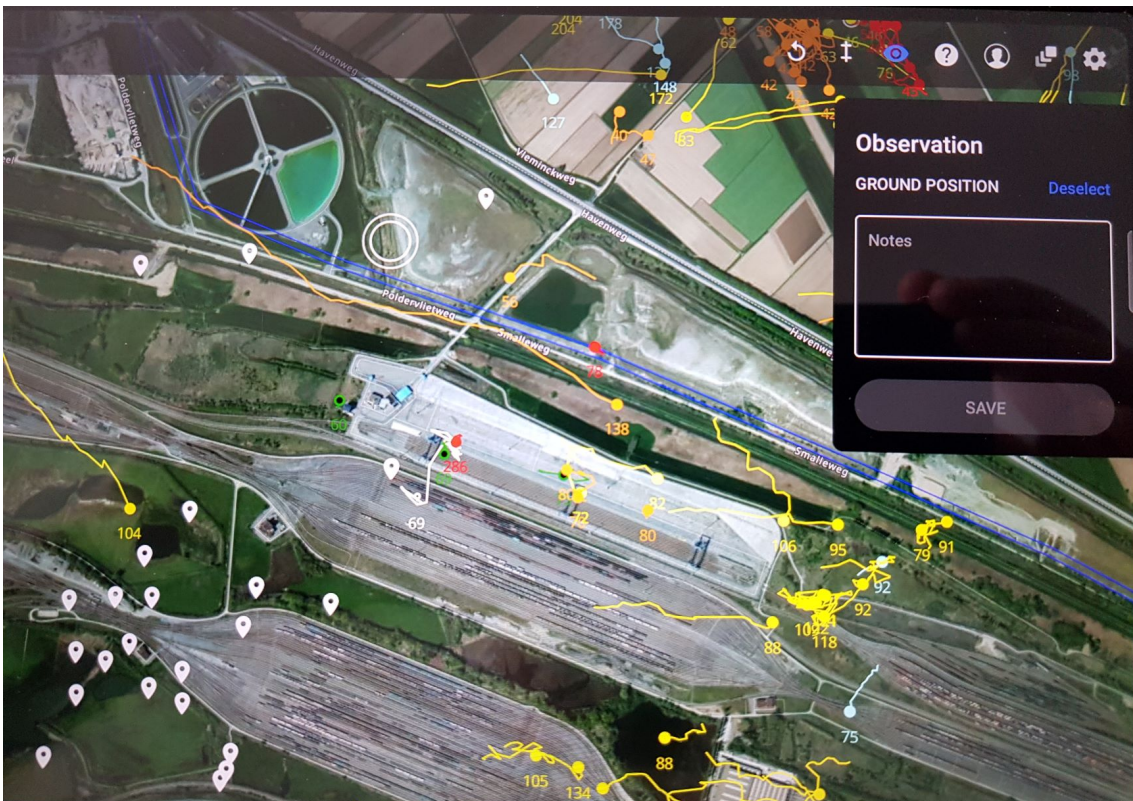
- Bij detectie door de radar: selecteren van de betreffende radartrack en toevoegen info via 'track position' invoer (Figuur 3.6) van soort(groep), aantal, en extra info in 'notes' veld (code telcirkel, code sessie (hier = v)).
- Bij geen detectie door de radar: selecteren van een positie op de kaart (zie witte ballonnetjes met zwarte punt) en toevoegen info via 'ground position' invoer (Figuur 3.7) in het 'notes' veld: 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 3.6: Track position invoer via de observation module in de Mobile Viewer.



Figuur 3.7: Ground position invoer via de observation module in de Mobile Viewer.



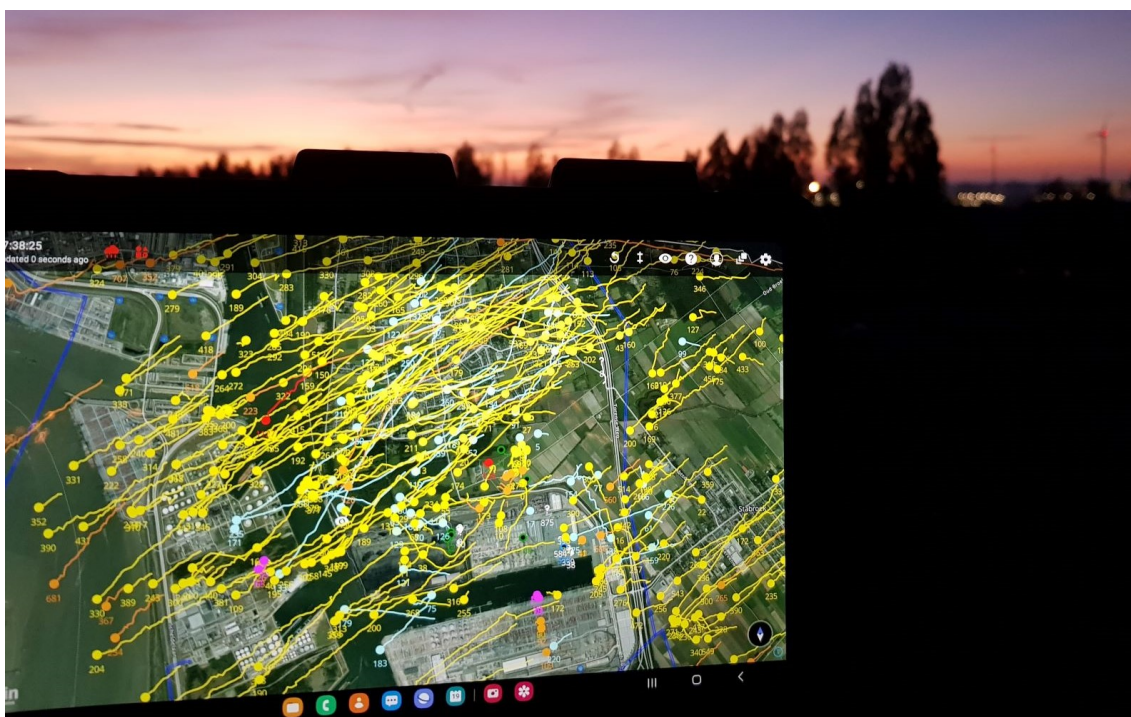
### 3.2.1.2 Radar vs. Visueel = r sessie

Hierbij gaat men in hoofdzaak na of de automatische classificatie van de door het radarsysteem gedetecteerde tracks (voldoende) correct is, incl. in het bijzonder of het effectief vogels zijn. Men kijkt tijdens deze sessies eerst naar het scherm met de radartracks, waarna de waarnemer nagaat of het al dan niet een vogel betreft en zo ja welke soort. In tegenstelling tot in 2021, werd in 2022 ervoor gekozen om minder van deze 'r' sessies te doen dan 'v' sessies, om zeker voldoende data te hebben om de detectiecapaciteit van de radar te testen.

- Bij detectie door de waarnemer: selecteren van de betreffende radartrack en toevoegen info via 'track position' invoer (zie boven), namelijk soort(groep), aantal, en extra info in 'notes' veld (code telcirkel, code sessie (hier = r)).
- Bij geen detectie van een vogel door de waarnemer betreft het (tenzij onvoldoende zichtomstandigheden) geen vogel: selecteren dan de betreffende (valse) radartrack en toevoegen info via 'track position' invoer (zie boven), namelijk "geen vogel" (al dan niet met extra info, bijvoorbeeld "gebouw", "kraan", "regen",...), aantal (standaard "1"), en extra info in 'notes' veld (code telcirkel, code sessie (hier = r)).

### 3.2.2 **Extra validatiesessies hoofdzakelijk gericht op soortbepaling**

Tijdens tellingen in de avond- en/of ochtendschemering en eerste deel van de nacht, maar uitzonderlijk ook overdag tijdelijk tussen de vaste validatiesessies in, werd via de track position invoer bij radartracks extra informatie toegevoegd volledig gericht op soortbepaling. Hiermee konden bijvoorbeeld zoveel mogelijk tracks van opvallende vliegbewegingen (bijvoorbeeld plotse massale verplaatsingen van watervogels) op soort(groep) worden gebracht (Figuur 3.8). Dit werd soms ook toegepast buiten de vaste validatiecirkels of toch niet altijd vanaf het centraal punt in deze telcirkels.



Figuur 3.8: Validatiesessie in de ochtendschemering tijdens massale seizoenstrek van vooral zangvogels in het najaar van 2022.



De extra validatiesessies zijn ingevoerd zonder een specifieke sessiecode, of eventueel met code n (nacht) of o (overige, bijvoorbeeld vroege ochtend). Dit werd ook gedaan door de betreffende radartracks te selecteren en het toevoegen van info via de 'track position' invoer (zie boven), namelijk minstens de soort(groep), aantal, en eventuele extra info in het 'notes' veld.

### 3.2.3 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'.

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 (vaste en extra sessies, zie verder). Hieronder worden de criteria voor het beoordelen van de automatische classificatie van het radarsysteem toegelicht.

- 'match': De visuele waarneming is gelijk met de radar classificatie. Voorbeelden: 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar ook als 1 grote vogel werd geclassificeerd; of bv. 1 vleermuis die door de radar geclassificeerd is als 1 kleine vogel.
- '± match': De visuele waarneming wijkt nauwelijks af van de radar classificatie. Voorbeelden: 1 vleermuis die door de radar geclassificeerd is als 1 kleine vogel; 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar als middelgrote vogel werd geclassificeerd; 2-4 vogels die door de radar als 1 vogel werden geclassificeerd; of bv. 1 vleermuis die door de radar als een insect werd geclassificeerd (hier in meeste gevallen).
- 'no match': De visuele waarneming wijkt duidelijk af van de radar classificatie. Voorbeelden: 1 grote vogel (bijvoorbeeld zilvermeeuw) die door de radar als 1 kleine vogel werd geclassificeerd; een groep van >4 vogels die door de radar als 1 vogel werden geclassificeerd; 2-4 vogels die door de radar als middelgrote vogel werden geclassificeerd; of bv. als een vogel als 'aircraft', 'fast target', 'slow target', 'vehicle', of 'unknown' werd geclassificeerd.

## 4 RESULTATEN

### 4.1 UITGEVOERDE VALIDATIES

In totaal zijn 8767 observaties in het veld gevalideerd (juni 2022 tot en met maart 2023). De validaties van maart, april en mei van 2022 (naar schatting 4.500 observaties) zijn door een fout in de aangeleverde database van ROBIN radar systems helaas verloren gegaan.

Figuur 4.1 toont de puntlocaties van alle validaties (locatie van een vogel of vleermuis of valse vogel/vleermuis-track op het moment van elke validatie). Een ruimtelijk overzicht van alle daaraan gerelateerde gevalideerde radartracks - bv. de volledige gedetecteerde vliegroute van vogels maar ook een aantal valse vogeltracks (zie daarover meer in 4.5) is weergegeven in figuur 4.2.

Het verschil tussen de puntlocaties voor enerzijds de observaties die door de radar ook effectief werden gedetecteerd en anderzijds voor deze die niet door de radar werden gedetecteerd, is weergegeven in figuur 4.3. In deze figuur is al een eerste ruimtelijk beeld te zien van het verschil in detectiecapaciteit van de radar in de verschillende telcirkels. De relatief slechte detectie in telcirkels 7, 10 en 11, vooral telcirkel 10, ook op rotorhoogte van nabije windturbines ( $H_2 = 90\text{-}200\text{ m}$ ), valt hier al snel op (zie ook verdere bespreking in deel 4.2).

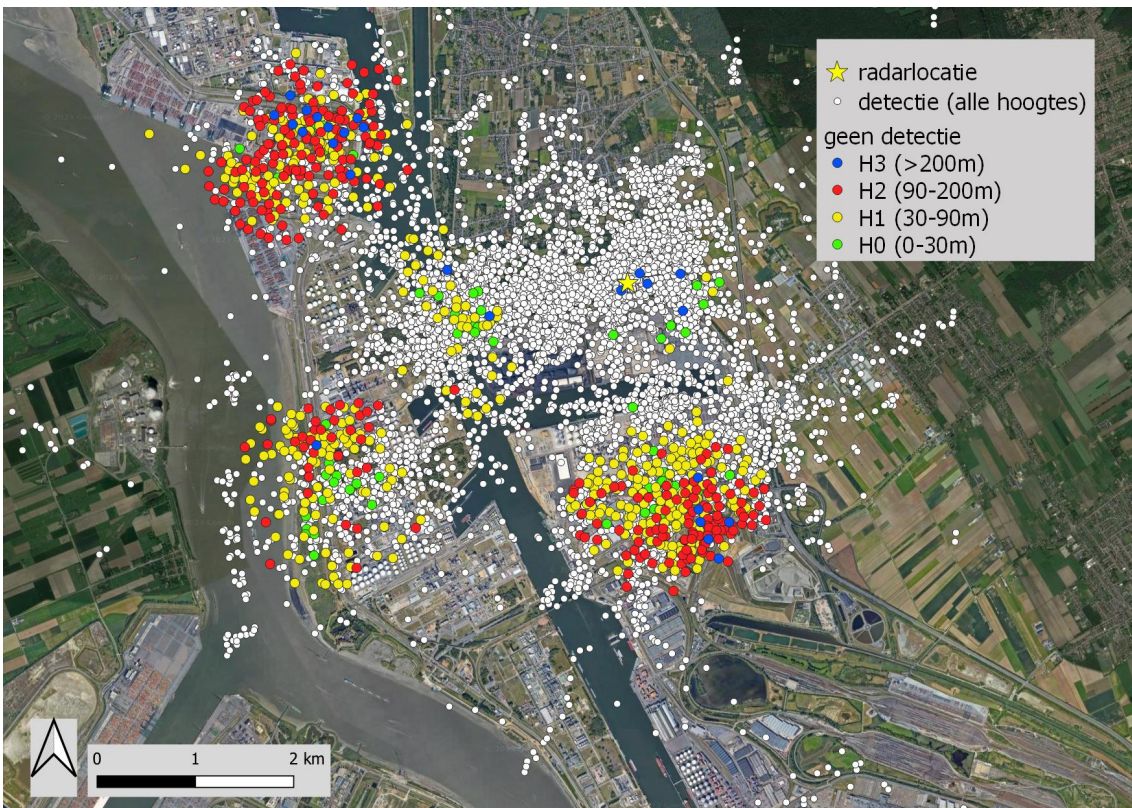


Figuur 4.1: Puntlocaties van alle validaties (locatie op het moment van elke validatie) in juni 2022 - maart 2023.



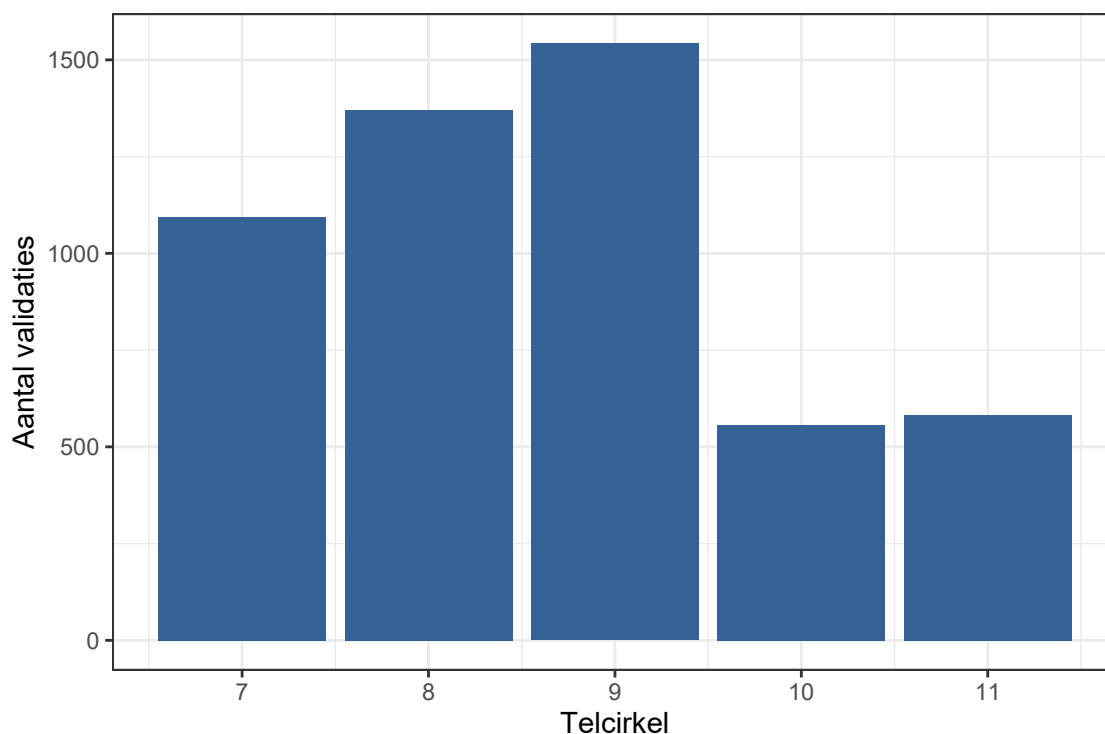


Figuur 4.2: Alle gevalideerde radartracks in juni 2022 - maart 2023.

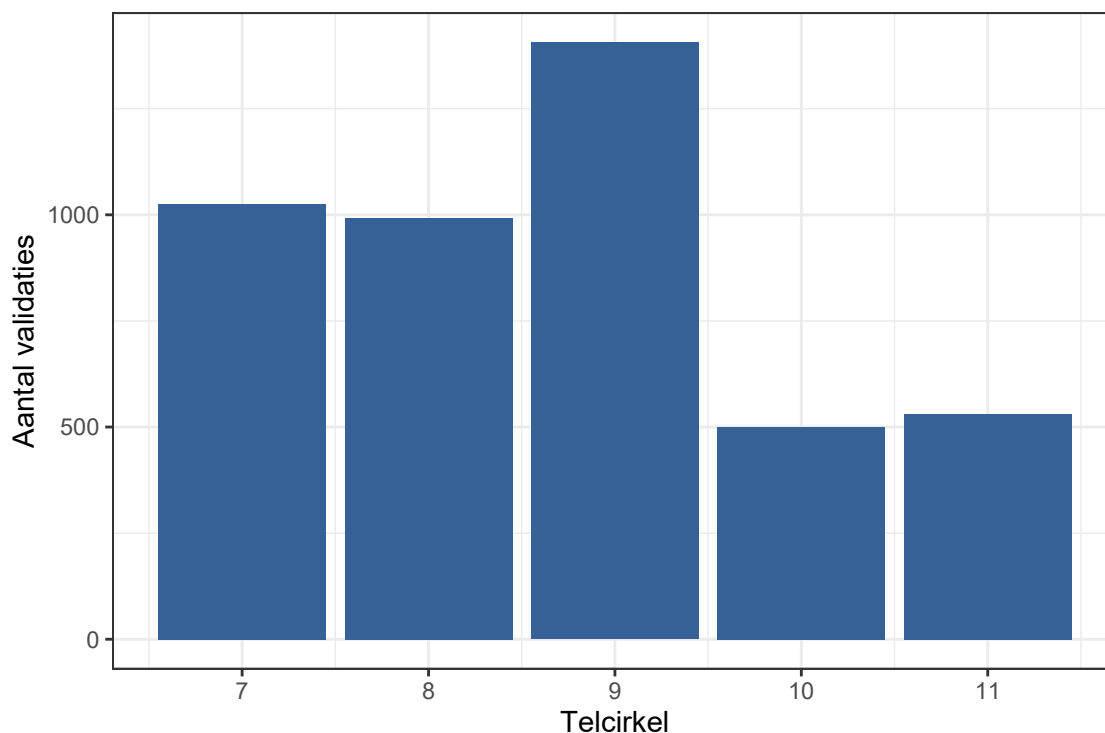


Figuur 4.3: Puntlocaties van alle validaties (locatie op het moment van elke validatie), enerzijds voor de observaties die door de radar effectief werden gedetecteerd en anderzijds voor de observaties die door de radar niet werden gedetecteerd, juni 2022 - maart 2023.

Figuur 4.4 toont het totaal aantal observaties vanuit ieder van de vaste telpunten bij alle validatiesessies. Daarnaast zijn er ook nog observaties die buiten deze telpunten zijn verricht (tijdens de extra validatiesessies). Om de detectiecapaciteit van de radar te beoordelen, kunnen enkel de 'visueel vs. radar' sessies meegenomen worden. Dit aantal is weergegeven in Figuur 4.5. Alle gevalideerde zekere vogels en vleermuizen (excl. valse vogeltracks, zie daarvoor deel 4.5) staan in tabel 4.1.



Figuur 4.4: Aantal uitgevoerde validaties van zekere vogels per telpunt (telcirkel) in juni 2022 - maart 2023.



Figuur 4.5: Zoals bovenstaande figuur, hier enkel de 'visueel vs. radar' validatiesessies.

Tabel 4.1: Aantal validaties per soort in juni 2022 - maart 2023 (excl. valse vogeltracks).

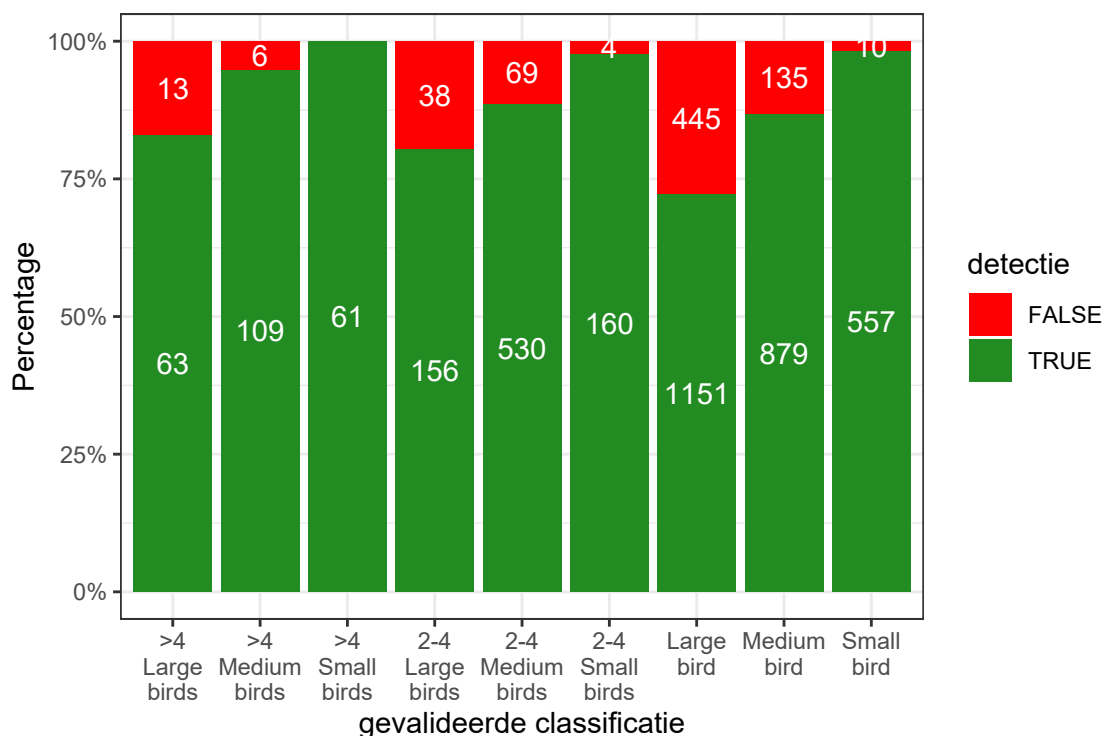
Soort	Aantal	Soort	Aantal
aalscholver	57	koperwiek	134
bergeend	1	kramsvogel	17
blauwe reiger	22	lepelaar	10
boerenwaluw	325	lijster	194
boomvalk	2	middelgrote vogel	2
bruine kiekendief	49	nijlgans	11
buiserd	33	oeverwaluw	2
canada gans	12	ooievaar	55
duif spec	7	rode wouw	4
eend spec	89	rosse vleermuis	3
gans spec	17	slechtvalk	43
geen vogel	413	smient	1
gewone dwergvleermuis	46	sperwer	6
gierzwaluw	254	spreeuw	72
grauwe gans	251	stormmeeuw	3
grote lijster	5	torenvalk	9
grote meeuw	51	veldleeuwerik	53
grutto	2	vink	16
havik	23	visdief	5
holenduif	23	vleermuis spec	218
houtduif	825	vogel spec	31
huiswaluw	26	watersnip	33
kauw	324	wespendief	9
kievit	97	wilde eend	77
kleine mantelmeeuw	166	wintertaling	4
kleine meeuw	14	witte kwikstaart	2
kleine vogel	44	wulp	1
knobbelzwaan	1	zanglijster	59
kokmeeuw	972	zilvermeeuw	1721
kolgans	49	zwarte kraai	18
		zwartkopmeeuw	87



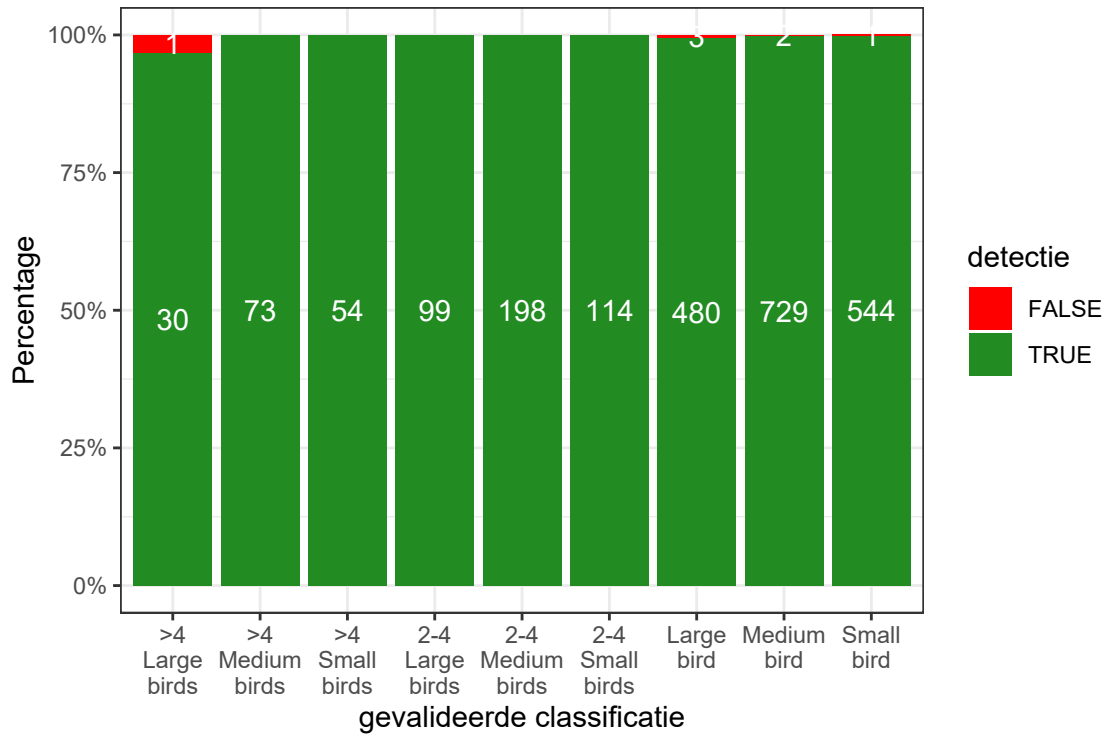
## 4.2 DETECTIECAPACITEIT VAN DE RADAR

De capaciteit van de radar om vogels (en vleermuizen) te detecteren is in dit deel bepaald op basis van de validatiesessies 'visueel vs. radar'. Voor grote groepen vogels (>4 vogels) is de detectiecapaciteit niet overall perfect in het onderzoeksgebied (alle telcirkels, hoogtes H1-3) Figuur 4.6 toont de detectiecapaciteit voor de verschillende vogelklassen op alle hoogtes. Het beste radarzicht was er in telcirkels 8 en 9 (Figuur 4.7). De hoge detectiecapaciteit voor individuele kleine vogels, in vergelijking met het minder goede resultaat voor grotere vogels, mag niet verkeerd geïnterpreteerd worden. Dit ligt o.a. aan het feit dat er een groot aantal gevalideerde zwaluwen zeer goed werden gedetecteerd in telcirkel 8. Ook het onlogische verschil tussen individuele grote en middelgrote vogels (betere detectie van middelgrote) kan wellicht verklaard worden door de verschillen tussen telcirkels in de verhouding van deze vogelgroepen, samen met het feit dat er veel meer grote vogels werden gevalideerd (grotere betrouwbaarheid). Het is alesszins belangrijk om ook de detectiecapaciteit per telcirkel en hoogteklasse apart te bekijken (zie verder). Een algemeen overzicht van de detectiecapaciteit per telcirkel is weergegeven in figuur 4.8.

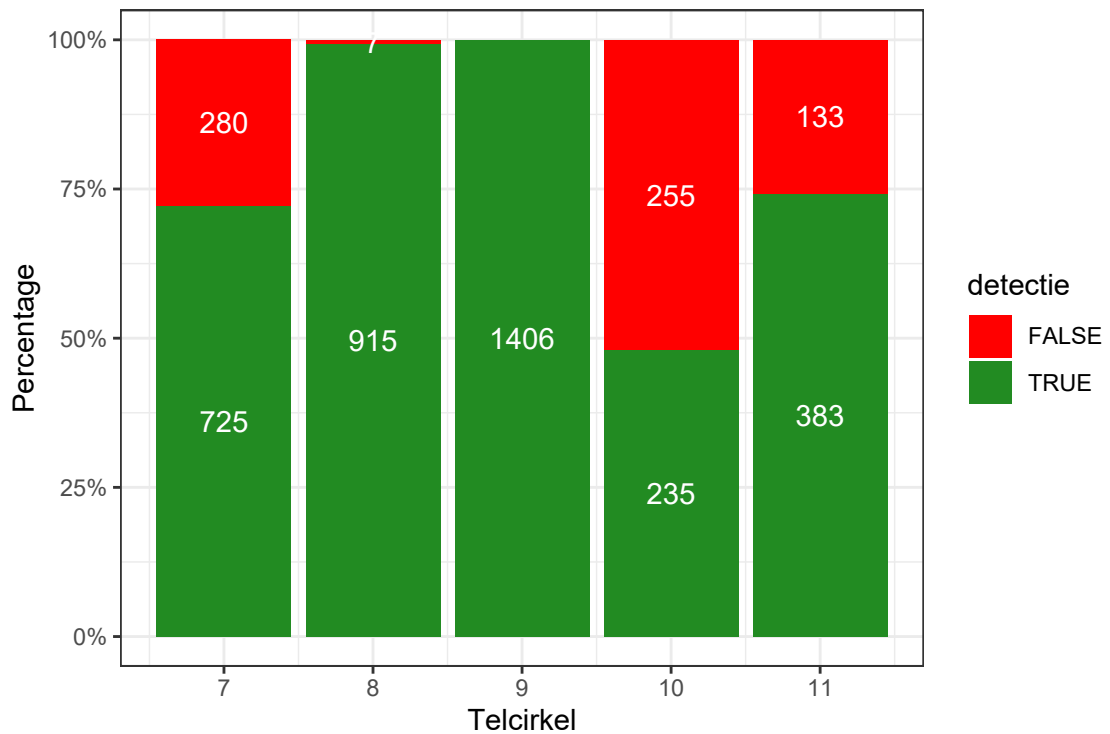
Als vereenvoudiging om o.a. het verschil tussen de telcirkels beter te kunnen zien, is in de onderstaande resultaten de laagste hoogteklasse (H0: 0-30 m) niet meegenomen. Globaal was de detectiecapaciteit in deze hoogteklasse uiteraard minder dan in de meest belangrijke (in functie van analyse impact door windturbines) hoogteklassen H1-3.



Figuur 4.6: Vogeldetectie capaciteit per gevalideerde vogelklasse, in hoogteklassen H1-3

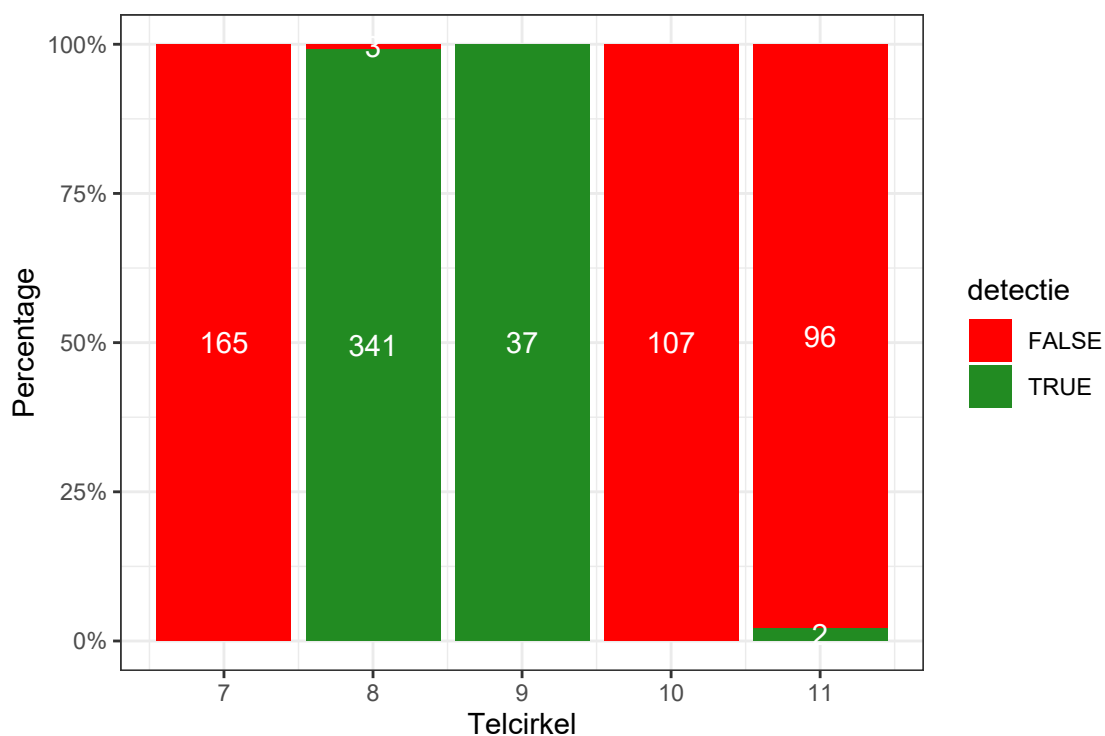


Figuur 4.7: Vogeldetectie capaciteit per gevalideerde vogelklasse, in hoogteklassen H1-3, enkel voor de telcirkels 8 en 9.

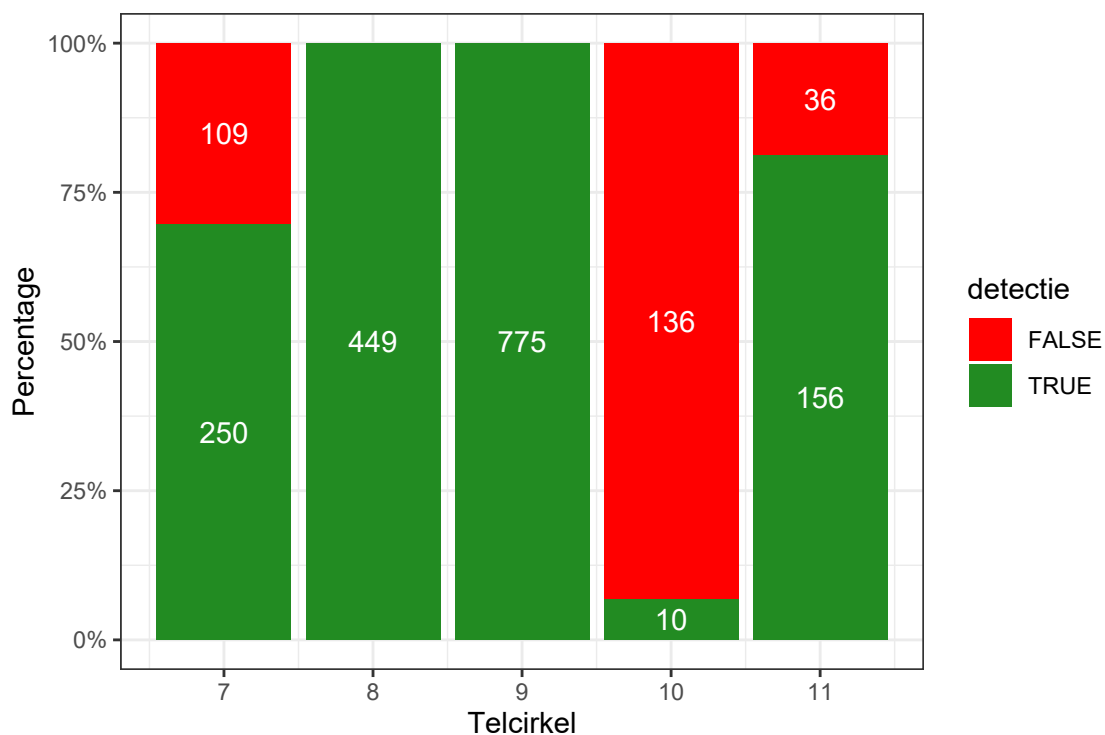


Figuur 4.8: Vogeldetectie capaciteit per telcirkel, in hoogteklassen H1-3

De figuren 4.9, 4.10, en 4.11 tonen de detectiecapaciteit voor alle vogels en vleermuizen in de verschillende telcirkels, voor respectievelijk hoogteklassen H1, H2, en H3. Hier zien we duidelijk dat er vooral in telcirkel 10 een slechte radardetectie is, zelfs op rotorhoogte van de nabije windturbines (H2 = 90-200 m).

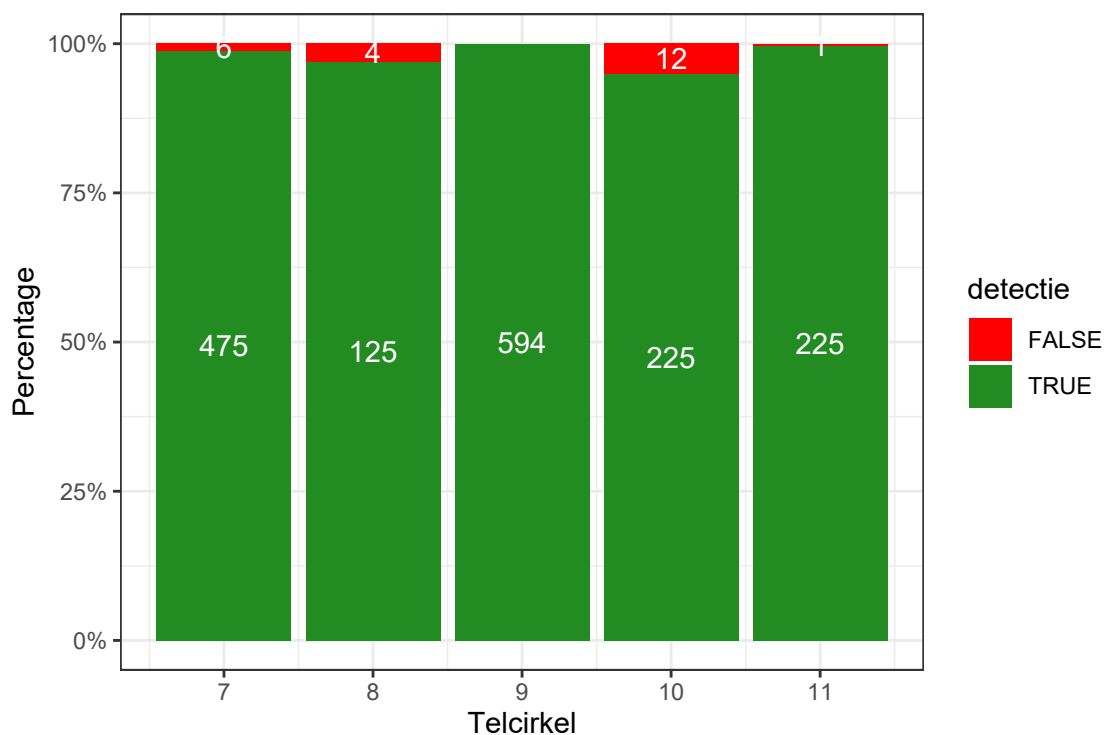


Figuur 4.9: Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H1



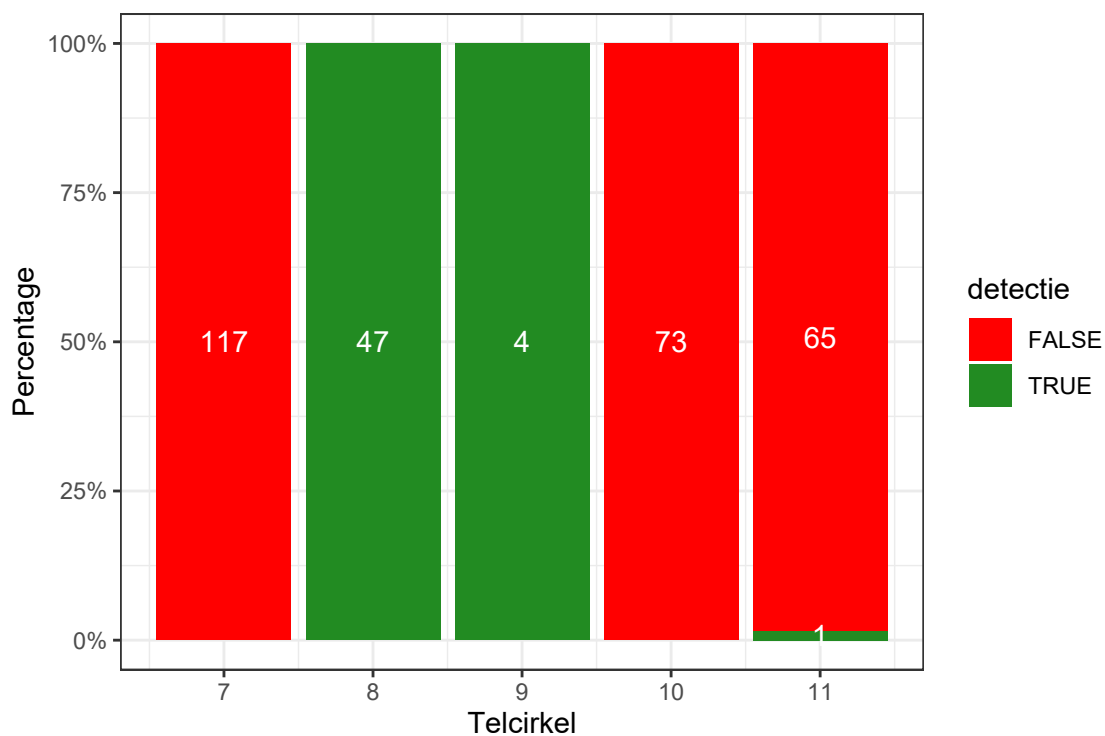
Figuur 4.10: Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H2





Figuur 4.11: Vogeldetectie capaciteit per telcirkel voor de hoogteklasse H3

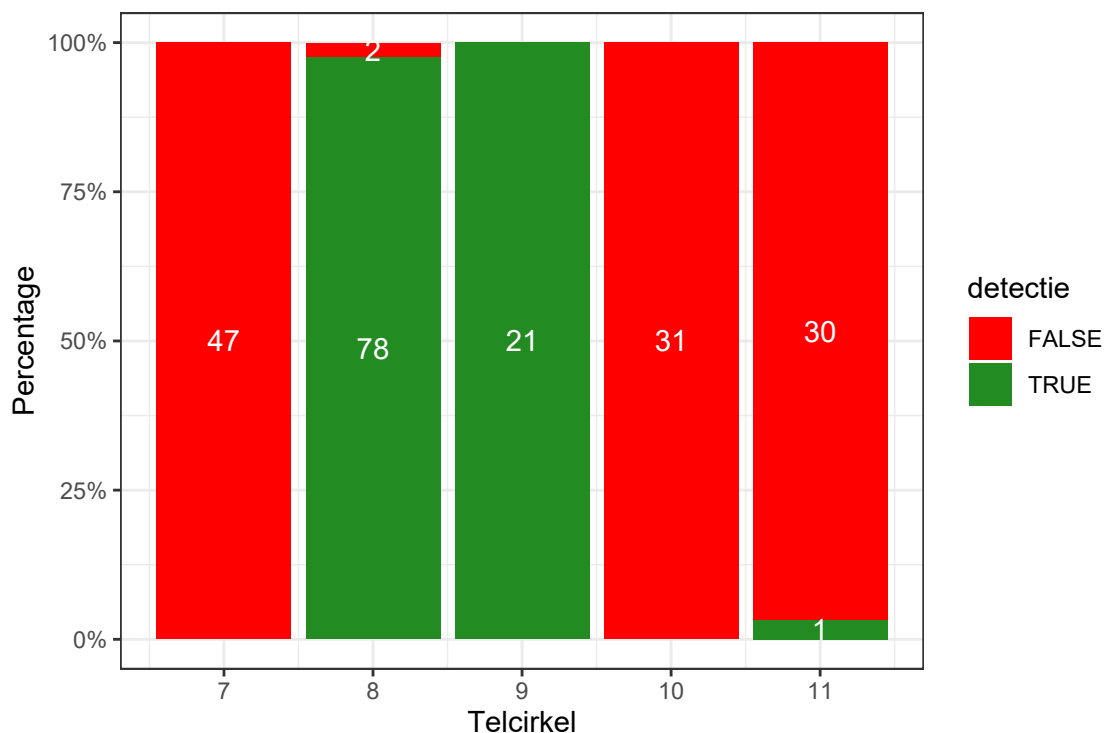
De figuren 4.12, 4.13, en 4.14 tonen de detectiecapaciteit voor grote vogels per telcirkel voor respectievelijk hoogteklassen H1, H2, en H3. Het zeer slecht zicht in telcirkel 10, is zelfs voor grote vogels ook hier opvallend tot op rotorhoogte (H2).



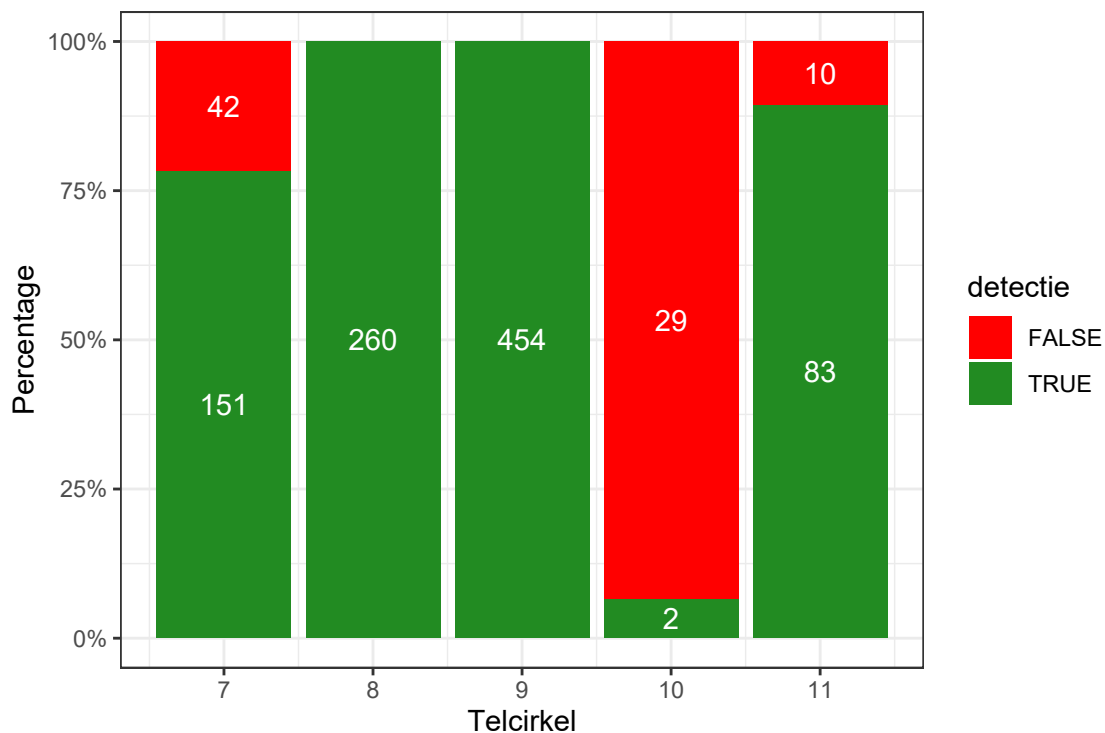
Figuur 4.12: Detectiecapaciteit voor grote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1



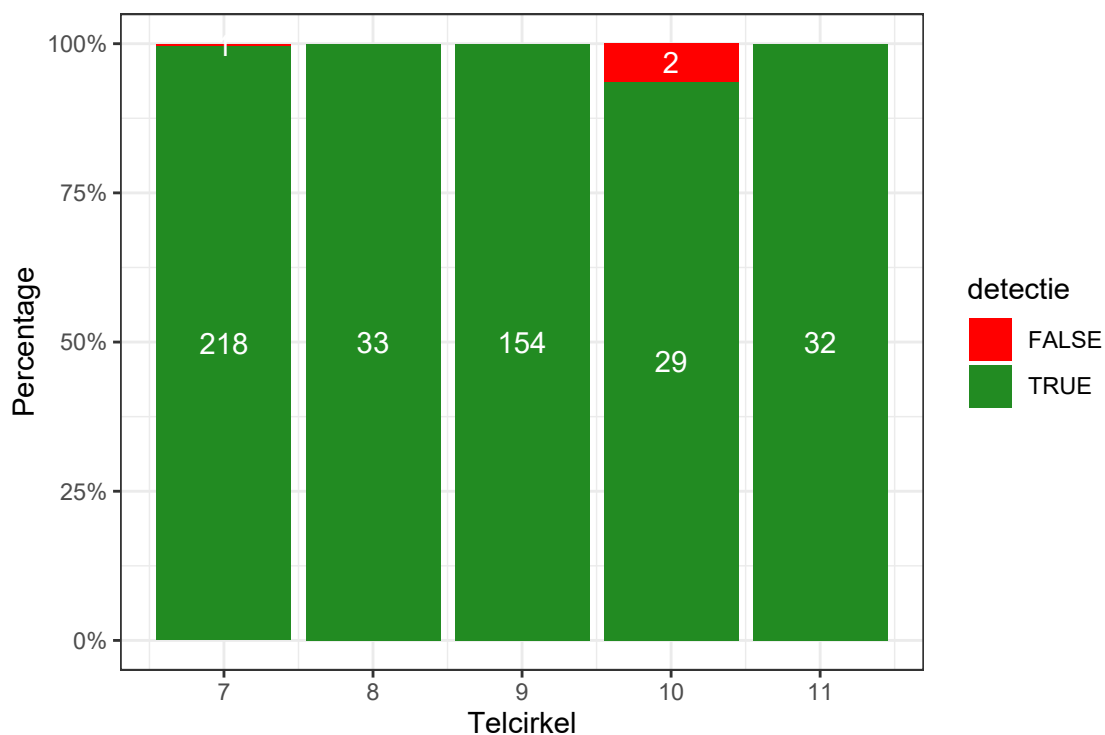
De figuren 4.15, 4.16, en 4.17 tonen de detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor respectievelijk hoogteklassen H1, H2, en H3. We zien hier een gelijkaardig resultaat als bij grote vogels.



Figuur 4.15: Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1

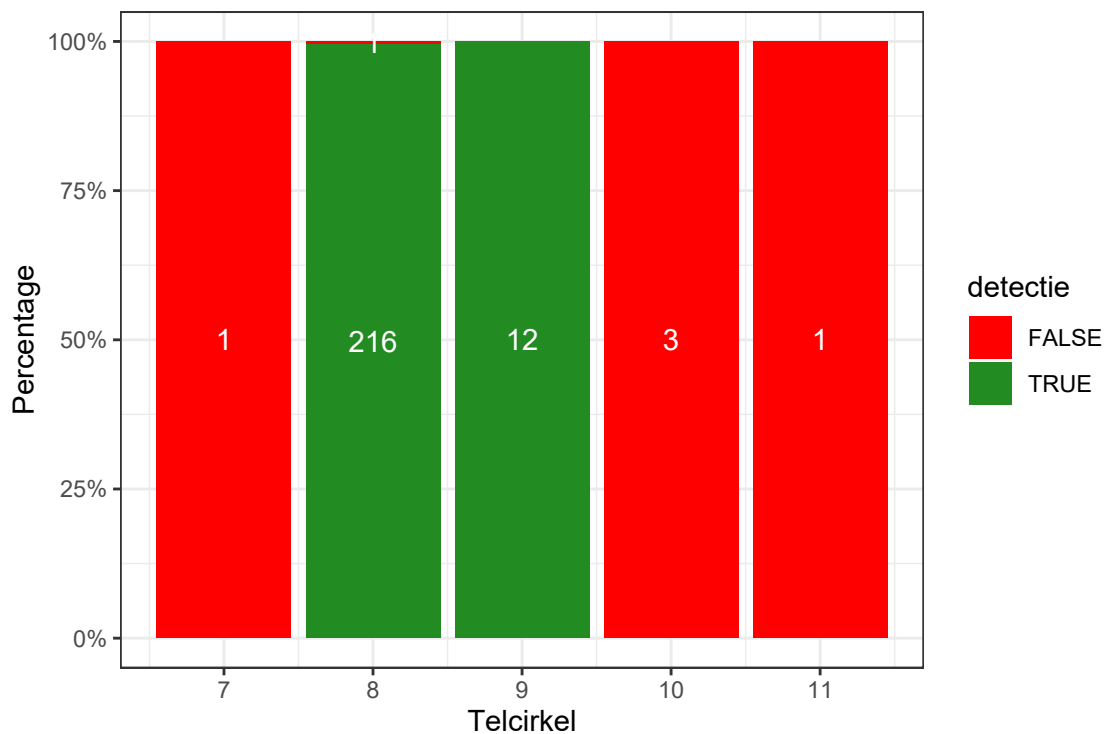


Figuur 4.16: Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H2

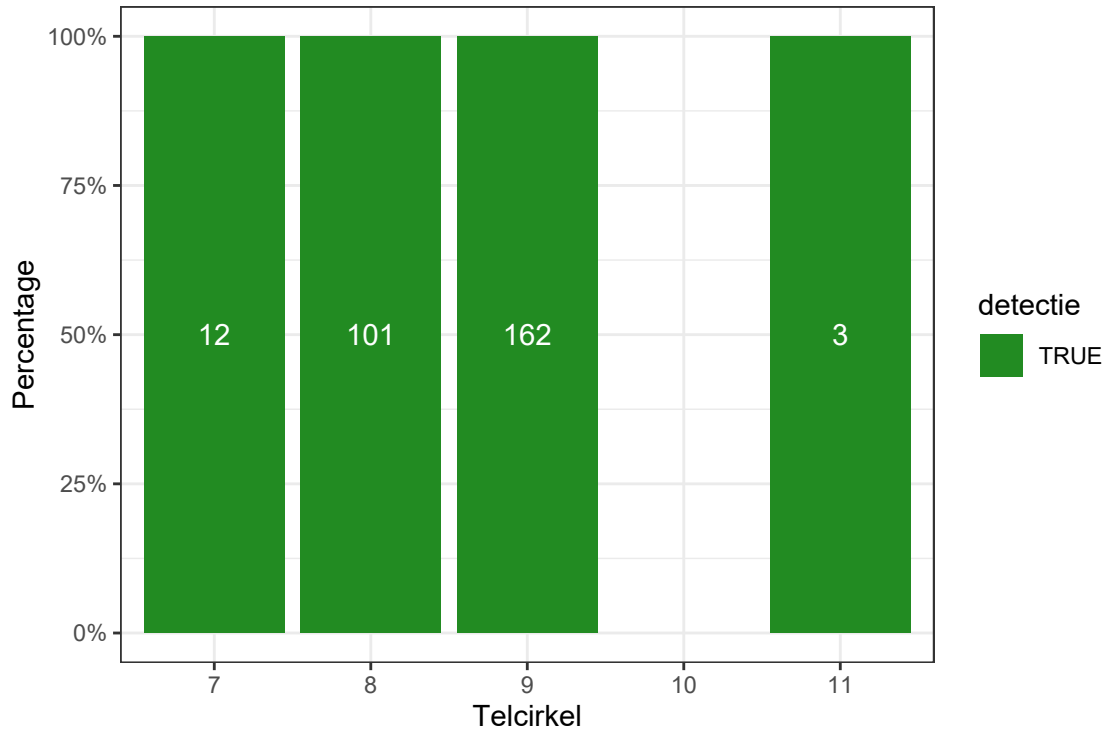


Figuur 4.17: Detectiecapaciteit voor middelgrote vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H3

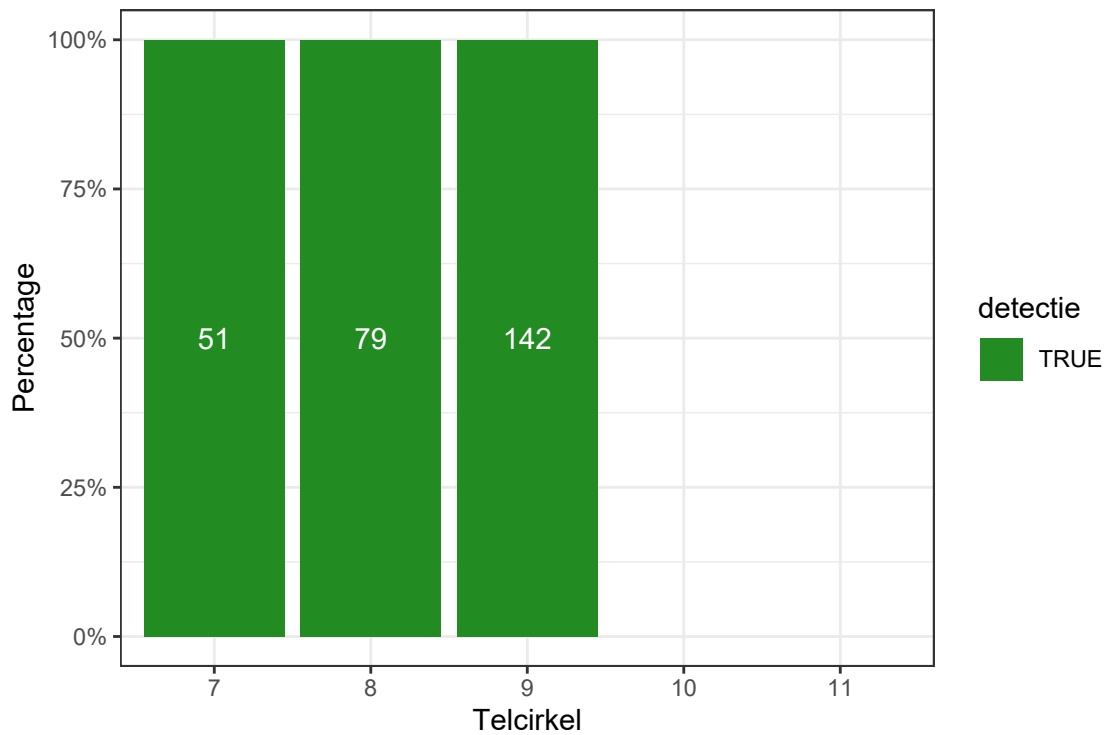
De figuren 4.18, 4.19, en 4.20 tonen de detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor respectievelijk hoogteklassen H1, H2, en H3. Er waren niet in alle telcirkels validaties van kleine vogels voor de hoogteklassen H2 en H3.



Figuur 4.18: Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H1

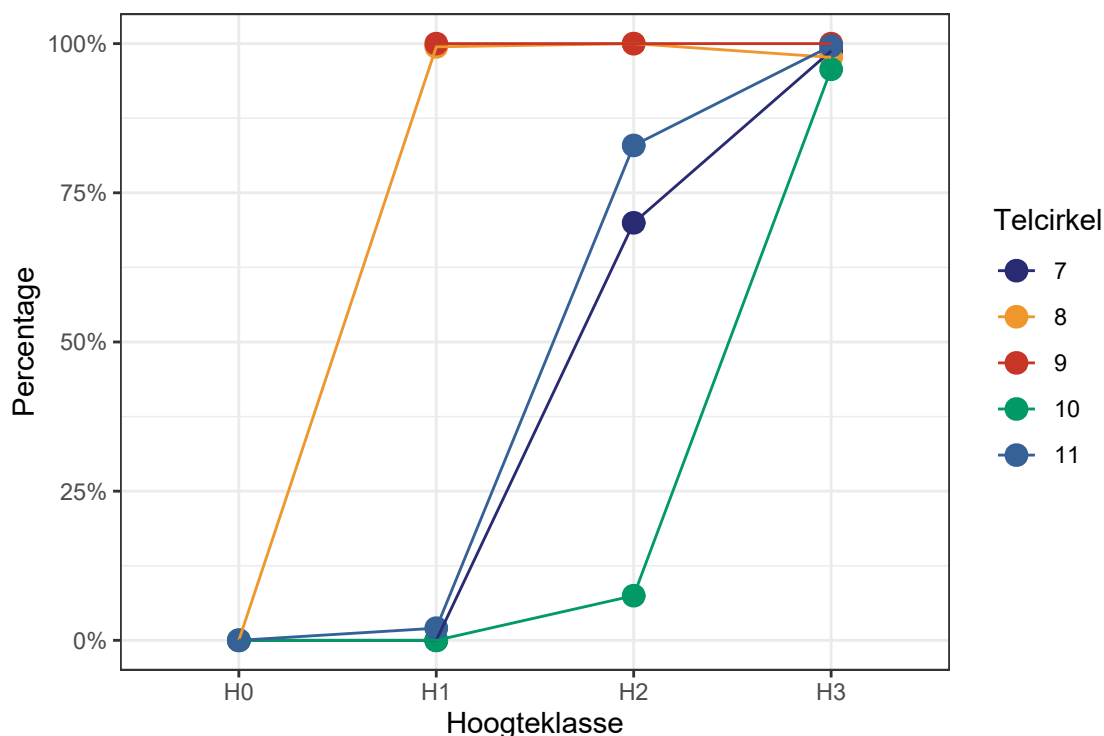


Figuur 4.19: Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H2.



Figuur 4.20: Detectiecapaciteit voor kleine vogels per telcirkel voor de hoogteklasse H3.

Figuur 4.21 toont een algemeen overzicht van de detectiecapaciteit voor vogels (alle vogelklassen samen) in de verschillende telcirkels. Hier is heel duidelijk te zien dat de radardetectie in de telcirkels 8 en 9 globaal gezien zeer goed is voor vogels op alle hoogtes. In de telcirkels 7 en 11 is de radardetectie voor vogels slecht tot en met hoogte H1 en resp. matig tot vrij goed vanaf hoogteklaase H2 (rotorhoogte van de nabije windturbines). In de telcirkel 11 is de radardetectie slechts goed vanaf hoogteklaase H3.



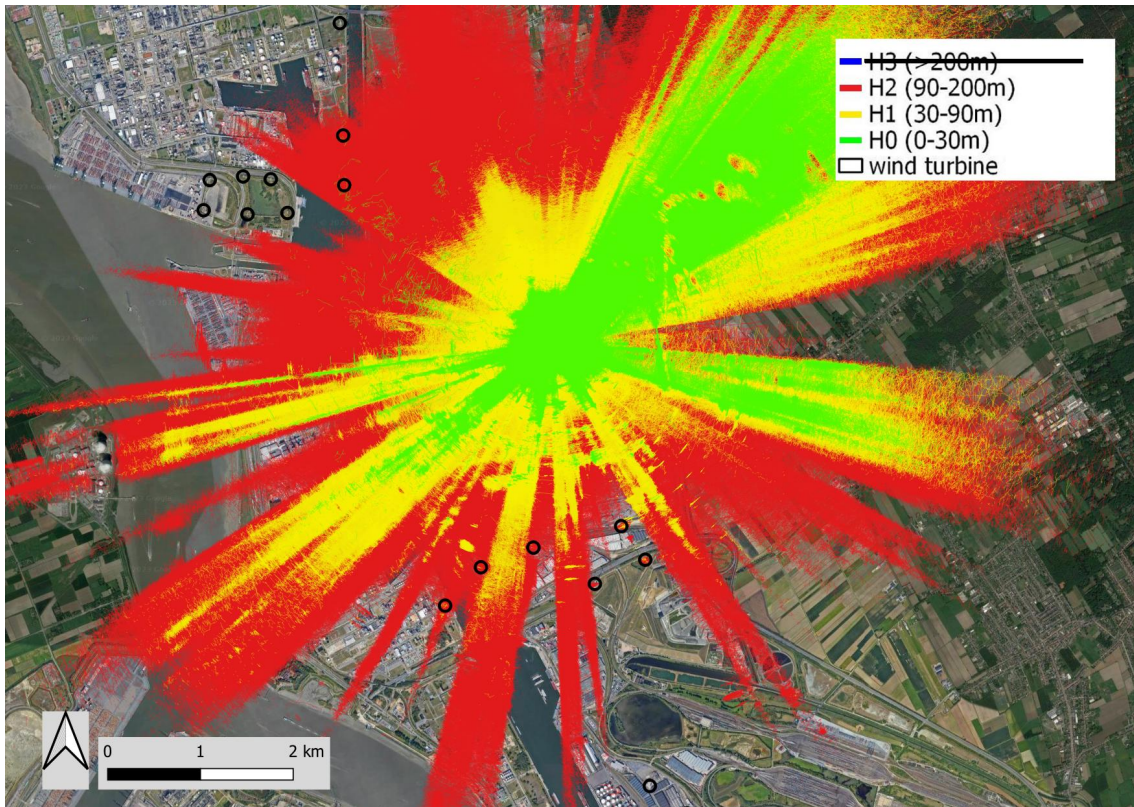
Figuur 4.21: Detectiecapaciteit in de telcirkels en hoogteklaase.

### 4.3 INDICATIE VOOR DE DETECTIECAPACITEIT, OP BASIS VAN EEN GROOT AANTAL RADARTRACKS

Met een goed gekozen selectie van een groot aantal radartracks (ook niet gevalideerde) kan ruimtelijk in het volledige aandachtsgebied ook een indicatie gegeven worden van de detectiecapaciteit van de radar. Hierbij moet wel opgelet worden voor het feit dat zones waar geen of minder vogels zijn gedetecteerd, niet per se een slechte detectiecapaciteit hebben. De detectiecapaciteit kan hierbij het best bepaald worden met een indeling in verschillende hoogteklassen. Opvallend afgebroken ‘lege’ zones in het beeld, afhankelijk de van de hoogteklaase, geven een beeld van problemen met het radarzicht. In de figuur 4.22 worden bijvoorbeeld alle radartracks met auto-classificatie “medium bird” in mei 2022 met minimumlengte 100 m weergegeven. In werkelijkheid zijn dit vooral grote vogels, vooral grote meeuwen (zie eerder in het hoofdstuk correctheid automatische classificatie op basis van de validaties). In de figuur zijn alle vogeltracks op grotere hoogte (H3: >200 m) niet weergegeven, waardoor de detectiecapaciteit op lagere hoogtes beter zichtbaar kan gemaakt worden. De resultaten in het vorige hoofdstuk worden met deze figuur nog duidelijker. De slechte detectiecapaciteit in telcirkel 10, zelfs voor vogels in hoogteklaase H2 (rotorhoogte van de grote windturbines in het havengebied), is hier zeer duidelijk. Ook het gedeeltelijk (lokaal) minder goed tot slecht zicht in de telcirkels 7 en 11 is hier ruimtelijk goed zichtbaar. Het voordeel van dergelijke kaart is de ruimtelijke weergave van ook lokale problemen van het radarzicht. Op basis van figuur 4.22 zijn in figuur 4.23 de zones weergegeven waar het radarzicht voor vogels tot op rotorhoogte van windturbines (H2) slecht is.







Figuur 4.22: Alle tracks met auto-classificatie “medium bird” in mei 2022 met minimumlengte 100 m. In werkelijkheid zijn dit vooral individueel vliegende middelgrote en grote vogels, vooral meeuwen.



Figuur 4.23: Zones met slecht zicht op rotorhoogte H2 (90-200 m) voor tracks met auto-classificatie “medium bird” (in werkelijkheid vooral middelgrote en grote vogels, vooral meeuwen).

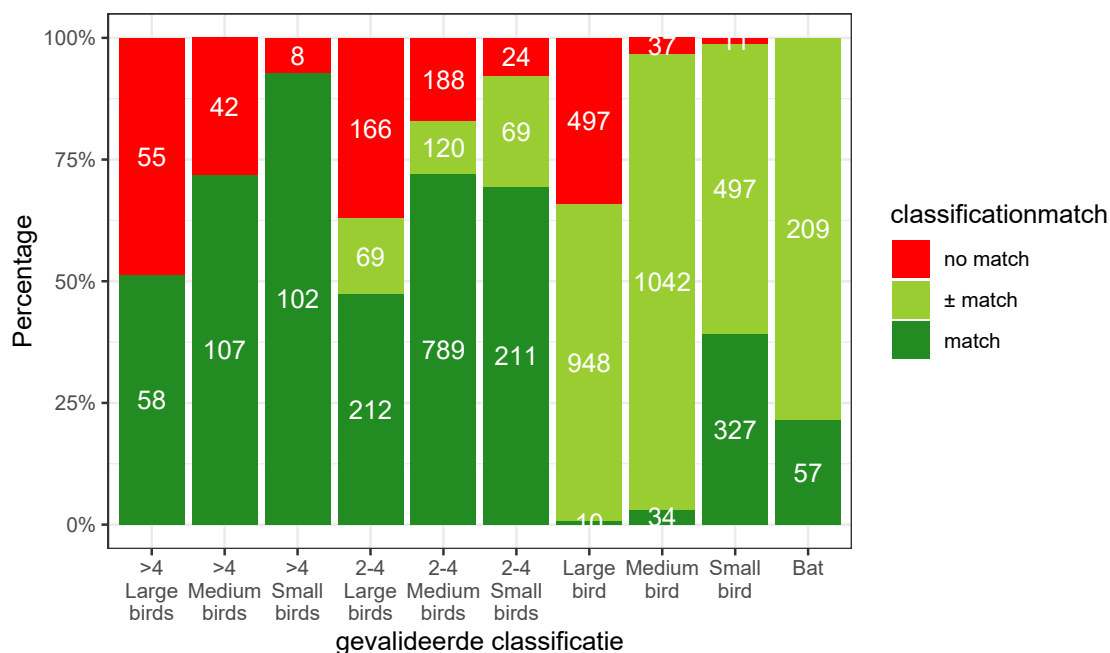
## 4.4 CORRECTHEID VAN AUTOMATISCHE CLASSIFICATIE

Alle gevalideerde radartracks (uit alle validatiesessies) die op basis van de visuele waarnemingen effectief vogels betroffen, zijn weergegeven in tabel 4.2 en figuur 4.24. Hierbij is het resultaat weergegeven van de correctheid van de automatische classificatie van het radarsysteem. Bij een 'match' is de classificatie volledig correct, bijvoorbeeld een grote vogel die effectief als 'Large bird' werd geclassificeerd door de radar. Bij '± match' wijkt de automatische classificatie één klasse af (op basis van grootte van de vogel) van de werkelijkheid (of toch de grootte-klasse zoals ingedeeld bij de validatie). Bij 'no match' wijkt de automatische classificatie minstens twee grootteklassen af.

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. Toch werd ook ten velde regelmatig vastgesteld dat de radar bijvoorbeeld kleine groepen (2-4) van grote vogels zoals ganzen ook regelmatig als één 'grote vogel' of 'middelgrote vogel' classificeerde, en kleine groepen (2-4) van middelgrote vogels zoals eenden ook regelmatig als één 'middelgrote vogel' of 'kleine vogel'.

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 4.25).

De radar classificeert individuele vogels vaak één klasse te klein (Figuur 4.26), 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) is ook hier duidelijk te zien.

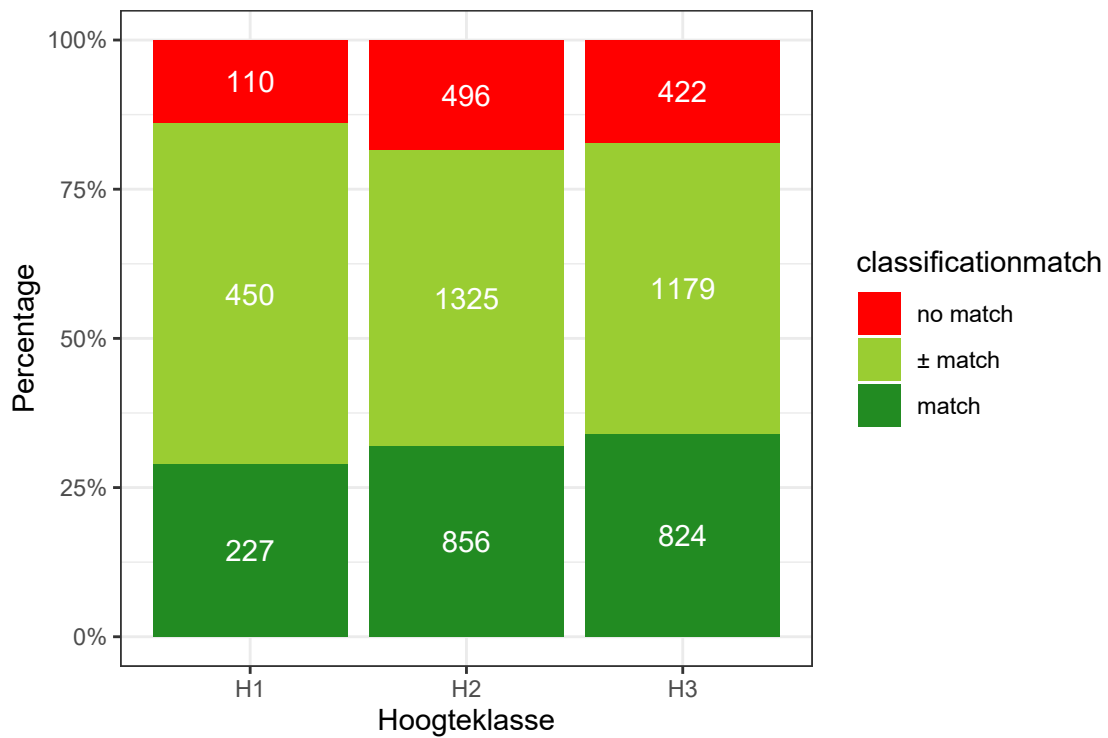


Figuur 4.24: Correctheid van classificatie per hoogteklasse (n = 5889).

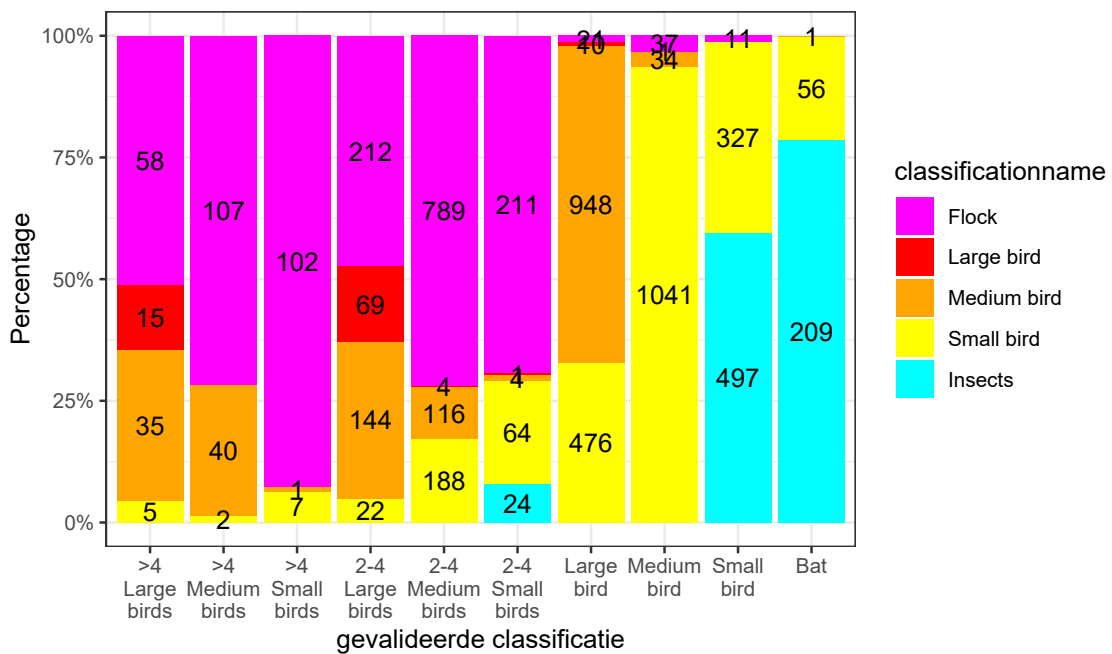


Tabel 4.2: Aantal keer ieder type soort geobserveerd werd.

Gevalideerde classificatie (visueel)	Automatische classificatie (radarsysteem)	match	± match	no match	Totaal
>4 Large birds	Flock	58	0	0	58
>4 Large birds	Large bird	0	0	15	15
>4 Large birds	Medium bird	0	0	35	35
>4 Large birds	Small bird	0	0	5	5
>4 Medium birds	Flock	107	0	0	107
>4 Medium birds	Medium bird	0	0	40	40
>4 Medium birds	Small bird	0	0	2	2
>4 Small birds	Flock	102	0	0	102
>4 Small birds	Medium bird	0	0	1	1
>4 Small birds	Small bird	0	0	7	7
2-4 Large birds	Flock	212	0	0	212
2-4 Large birds	Large bird	0	69	0	69
2-4 Large birds	Medium bird	0	0	144	144
2-4 Large birds	Small bird	0	0	22	22
2-4 Medium birds	Flock	789	0	0	789
2-4 Medium birds	Large bird	0	4	0	4
2-4 Medium birds	Medium bird	0	116	0	116
2-4 Medium birds	Small bird	0	0	188	188
2-4 Small birds	Flock	211	0	0	211
2-4 Small birds	Large bird	0	1	0	1
2-4 Small birds	Medium bird	0	4	0	4
2-4 Small birds	Small bird	0	64	0	64
2-4 Small birds	Insects	0	0	24	24
Large bird	Flock	0	0	21	21
Large bird	Large bird	10	0	0	10
Large bird	Medium bird	0	948	0	948
Large bird	Small bird	0	0	476	476
Medium bird	Flock	0	0	37	37
Medium bird	Large bird	0	1	0	1
Medium bird	Medium bird	34	0	0	34
Medium bird	Small bird	0	1041	0	1041
Small bird	Flock	0	0	11	11
Small bird	Small bird	327	0	0	327
Small bird	Insects	0	497	0	497
Bat	Medium bird	1	0	0	1
Bat	Small bird	56	0	0	56
Bat	Insects	0	209	0	209
Eindtotaal vogelvalidaties		1907	2954	1028	5889

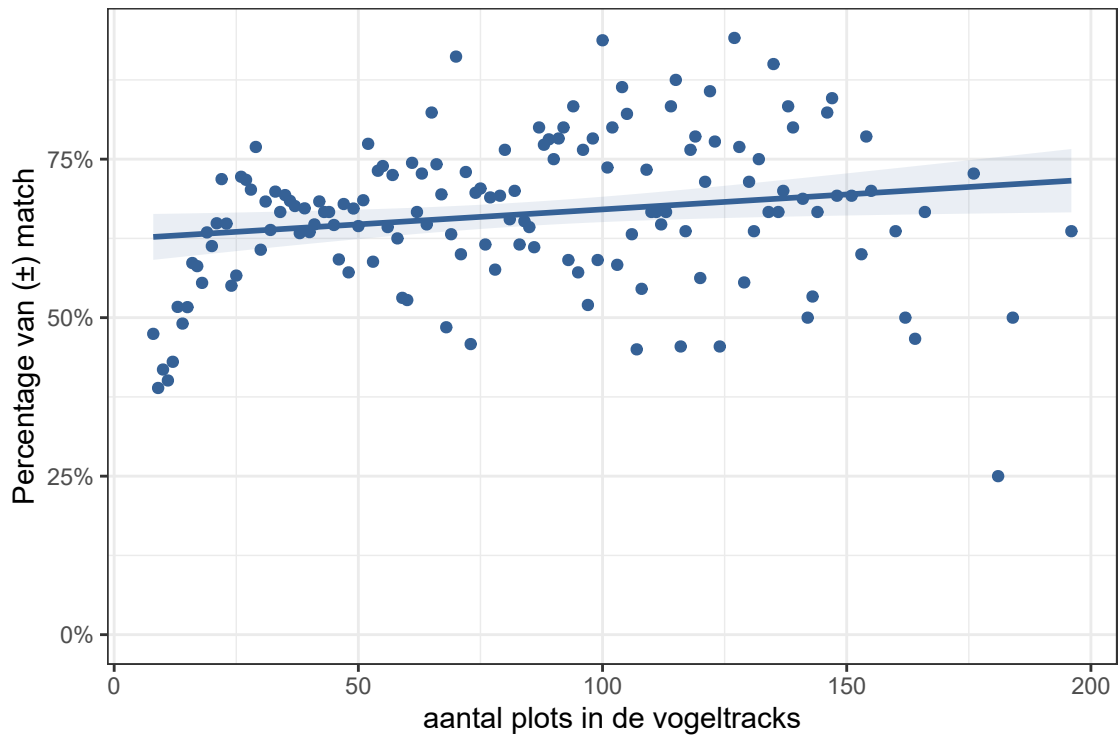


Figuur 4.25: Correctheid van classificatie per gevalideerde klasse (n = 5889 ).



Figuur 4.26: Vergelijking van automatische classificatie door het radarsysteem (legende rechts) per gevalideerde vogelklasse op alle hoogtes (n = 5889 ).

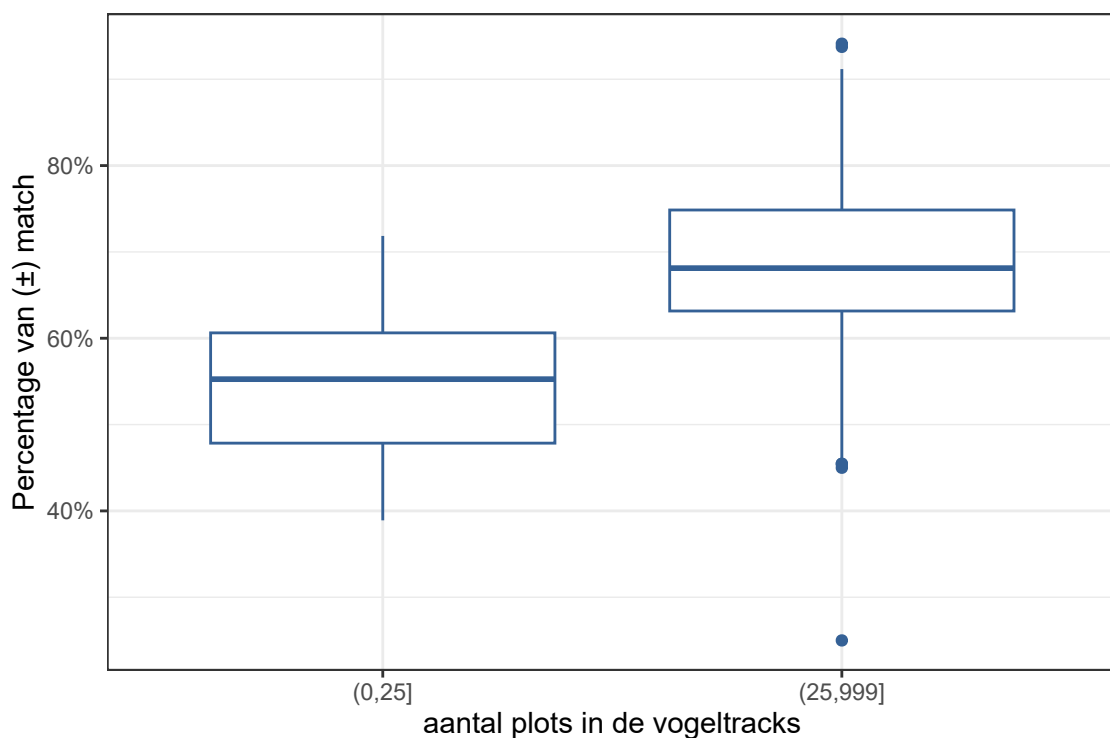
Het aantal radardetectie punten (plots) van een vogeltrack (heeft vaak ook een duidelijke relatie met de lengte van de track) geeft aan hoelang de radar een vogel bleef detecteren. Dit aantal plots lijkt een kleine invloed te hebben op de correctheid van de automatische classificatie, hoewel langere tracks wat meer variatie vertonen dan kortere (Figuur 4.27).



Figuur 4.27: Percentage van aantal (vrij) correcte vogelclassificaties ('match' en '± match') in relatie tot het aantal punten (plots) in de vogeltracks in hoogteklassen H1-3 (min. 10 tracks per plotwaarde).

Als we de data opsplitsen in 2 groepen waarbij de eerste groep de zeer korte vogeltracks zijn met minder dan 25 plotpunten per track, is vrij duidelijk te zien dat zeer korte vogeltracks een minder goede classificatie lijken te hebben dan langere vogeltracks (Figuur 4.28). Bij een automatische opsplitsing in 2 gelijke groepen (qua aantal) is dat verschil minder duidelijk of afwezig.





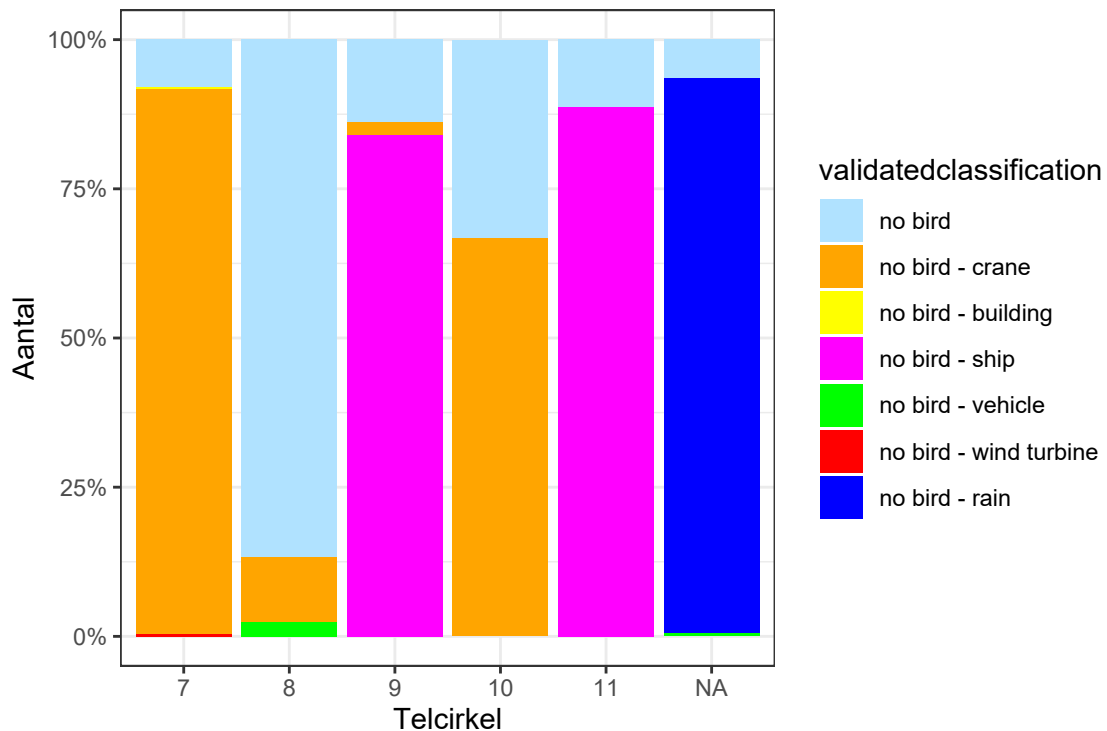
Figuur 4.28: Boxplot figuur met het percentage van aantal (vrij) correcte vogelclassificaties ('match' en '± match') in relatie tot het aantal punten (plots) in de vogeltracks in hoogteklassen H1-3 (min. 10 tracks per plotwaarde), manueel opgesplitst in 2 groepen (zeer korte tracks met minder dan 25 plotpunten vs. de langere tracks).

#### 4.5 FOUTIEVE VOGELCLASSIFICATIE VAN NIET-VOGELS

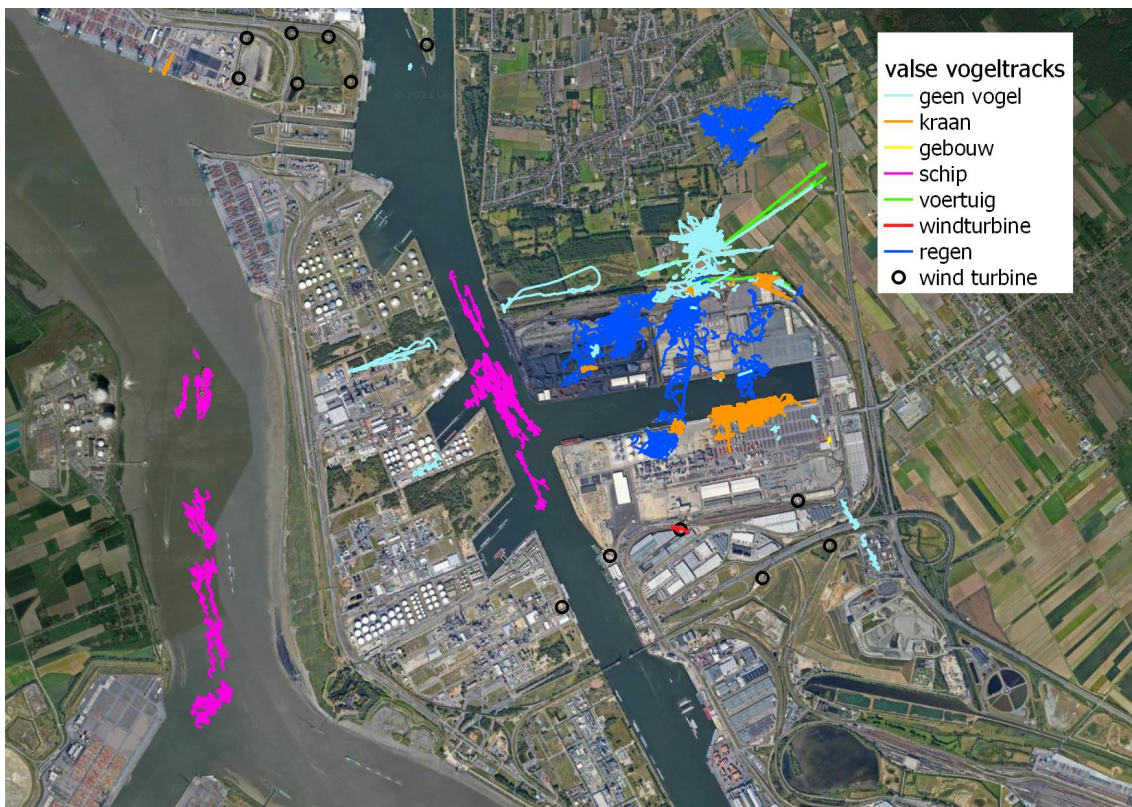
In tabel 4.3 is het aantal gevalideerde tracks weergegeven van niet-vogels die door het radarsysteem foutief als een bepaalde vogelklasse werden geclassificeerd. Deze zijn vooral afkomstig uit de 'radar vs visueel' validatiesessies, maar in kleine mate ook van de speciale nacht- en ochtendsessies. In figuur 4.29 is weergegeven in welke telcirkel deze werden waargenomen en figuur 4.30 geeft daarvan een ruimtelijk beeld. Aan bepaalde gebouwen, rijdende container-verplaatsers (o.a. net ten zuiden van Opstalgebied) en vooral aan de bewegende kranen langs het Bevrijdingsdok (in telcirkels 7 en 8) werden tijdens de validaties regelmatig valse vogeltracks gezien, doorgaans als 'Large bird'. Tijdens korte momenten buiten de normale validatiesessies, werden in combinatie met buienradar.be ook een reeks valse vogeltracks gevalideerd die door buien werden veroorzaakt. Dit fenomeen lijkt wel uitzonderlijk te zijn.

Tabel 4.3: Foutieve automatische classificaties als vogels.

Gevalideerde classificatie (visueel)	foutieve automatische classificaties als vogel
no bird	396
no bird - building	1
no bird - crane	262
no bird - rain	402
no bird - ship	142
no bird - vehicle	11
no bird - wind turbine	1
<b>Eindtotaal niet-vogel validaties</b>	<b>1215</b>



Figuur 4.29: Procentueel aantal foutieve classificaties als een vogel (alle validatieklassen) in de verschillende telcirkels en daarbuiten, ten opzichte van het totaal aantal foutieve classificaties.



Figuur 4.30: Valse vogeltracks tijdens de validaties in juni 2022 - maart 2023. 'NA' zijn extra validaties niet vanaf de vaste telpunten

## 4.6 PRECISIE, SENSITIVITEIT EN SPECIFICITEIT

In deze sectie bekijken we de correctheid van classificatie niet alleen visueel, in bar charts, maar berekenen we de verschillende statistische parameters die de voorspellingskracht van de radar kunnen inschatten. We illustreren deze berekeningen aan de hand van het hypothetische scenario in Tabel 4.4. Deze tabel toont een zogenaamde hypothetische *confusion matrix*. Deze  $N * N$  matrix toont het aantal tracks dat door de radar in één van de  $N$  mogelijke klassen werd geklassificeerd. In het voorbeeld tonen we slechts  $N = 3$  klassen om het eenvoudig te houden.

Volgens de manuele validatie in het veld zijn er 5 grote vogels, 2 medium vogels en 3 kleine vogels. De radar classificeert echter 4 tracks als grote vogel, 2 tracks als medium vogel en 4 tracks als kleine vogel. De *totale accuraatheid* is gelijk aan het percentage van de cellen in de matrix waarvoor de manuele validatie en de radar hetzelfde zijn. Dit betekent dat het gelijk is aan de som van de diagonaalelementen in de confusion matrix, gedeeld door het totaal aantal tracks (10);  $= \frac{4+1+3}{10} = 80\%$ . Precisie is een maatstaf voor de correctheid van classificatie van de radar en is gelijk aan de kans dat een track die door de radar geclassificeerd wordt als klasse  $x$  ook effectief klasse  $x$  is.

- Voor grote vogels is de *precisie*  $\frac{4}{4} = 100\%$ .
- Voor medium vogels is de *precisie*  $\frac{1}{2} = 50\%$ .
- Voor kleine vogels is de *precisie*  $\frac{3}{4} = 75\%$ .

De sensitiviteit of recall is gelijk aan de kans dat een track door de radar correct als klasse  $x$  (bv. "Large bird") geïdentificeerd wordt, indien het ook in werkelijkheid om klasse  $x$  gaat. We zien bijvoorbeeld dat de radar er in slaagt om 80% (50%) van de grote (medium) vogels te identificeren.

- Voor grote vogels is de *sensitiviteit*  $\frac{4}{5} = 80\%$ .
- Voor medium vogels is de *sensitiviteit*  $\frac{1}{2} = 50\%$ .



- Voor kleine vogels is de *sensitiviteit*  $\frac{3}{3} = 100\%$ .

De specificiteit is de kans dat een track door de radar correct *niet* als klasse  $x$  (bv. “Large bird”) geïdentificeerd wordt, indien het ook in werkelijkheid *niet* om klasse  $x$  gaat. We zien bijvoorbeeld dat we 100% zeker mogen zijn dat medium en kleine vogels niet als grote vogel geïdentificeerd worden door de radar.

- Voor grote vogels is de *specificiteit*  $\frac{5}{5} = 100\%$ .
- Voor medium vogels is de *specificiteit*  $\frac{7}{8} = 87.5\%$ . Van de 8 grote en kleine vogels werd er immers toch één als medium vogel geïdentificeerd.
- Voor kleine vogels is de *specificiteit*  $\frac{6}{7} = 85.7\%$ . Van de 7 grote en medium vogels werd er immers toch één als kleine vogel geïdentificeerd.

Tabel 4.4: Fictief voorbeeld van een confusion matrix.

	Gevalideerde classificatie			Totaal
	Large bird	Medium bird	Small bird	
Radar classificatie				
Large bird	4	0	0	4
Medium bird	1	1	0	2
Small bird	0	1	3	4
Totaal	5	2	3	10

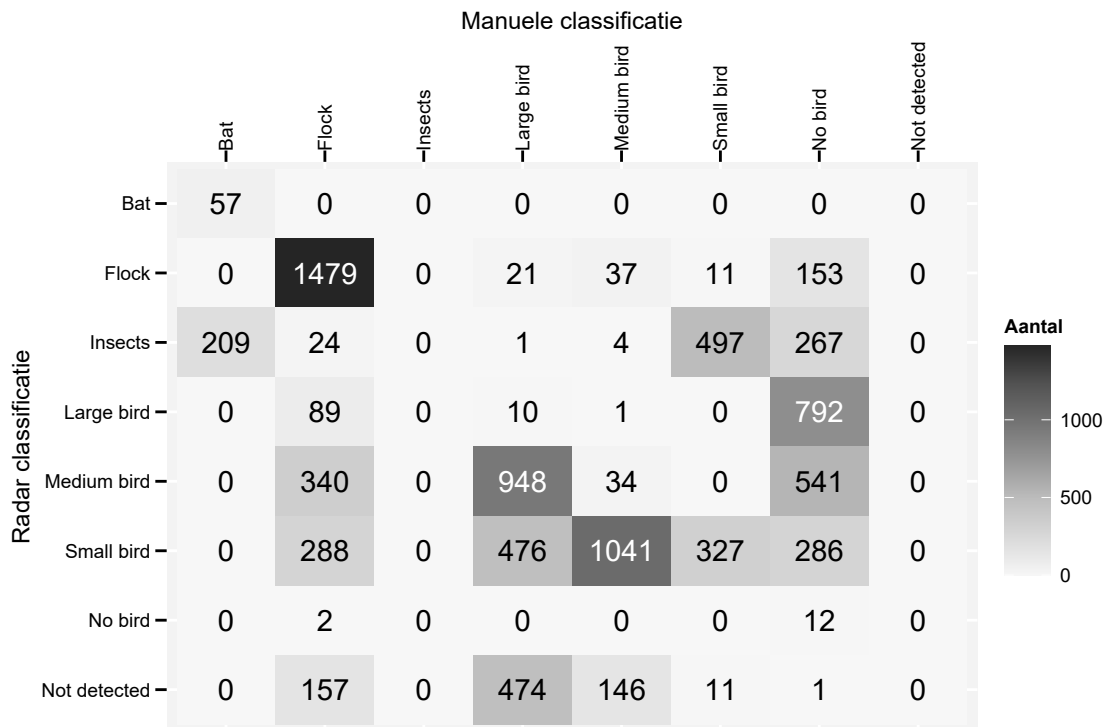
Een eerste probleem bij het berekenen van de sensitiviteit, specificiteit en precisie, is dat de klassen die manueel werden toegevoegd nauwkeuriger zijn dan de klassen die de radar automatisch toekent. Om het eenvoudig te houden, worden hieronder echter alle manuele waarnemingen van meer dan één vogel vervangen door “Flock”.

De confusion matrix in figuur 4.31 toont in de rijen de klasse waarin de radar observaties classificeerde en de kolommen tonen de manuele classificatie. In iedere cel staat het aantal gevalideerde observeerde observaties dat tot de desbetreffende radar - en validatieklasse behoort. De matrix toont dat de radar vogels eerder te klein inschat, zoals reeds aangegeven in het voorgaand hoofdstuk: klein in plaats van medium of medium in plaats van groot. De onderste rij toont welk type tracks manueel werden toegevoegd door de expert in het veld indien de vogel niet door de radar gezien werd. De voorlaatste kolom toont dat er heel wat insecten, groepen (‘Flock’) en large birds door de expert als “No bird” geïdentificeerd werden. Dit waren valse tracks door o.a. bewegende kranen, voertuigen, regen, enz. (zie voorgaande hoofdstuk).

Tabel 4.5: Accuraatheid van de radar per klasse

Klasse	Sensitiviteit	Specificiteit	Precisie
Bat	0.2142857	1.0000000	1.0000000
Flock	0.6216898	0.9650779	0.8694885
Insects	NA	0.8853022	0.0000000
Large bird	0.0051813	0.8704085	0.0112108
Medium bird	0.0269200	0.7552522	0.0182501
Small bird	0.3865248	0.7349810	0.1352357
No bird	0.0058480	0.9997008	0.8571429
Not detected	NA	0.9096841	0.0000000

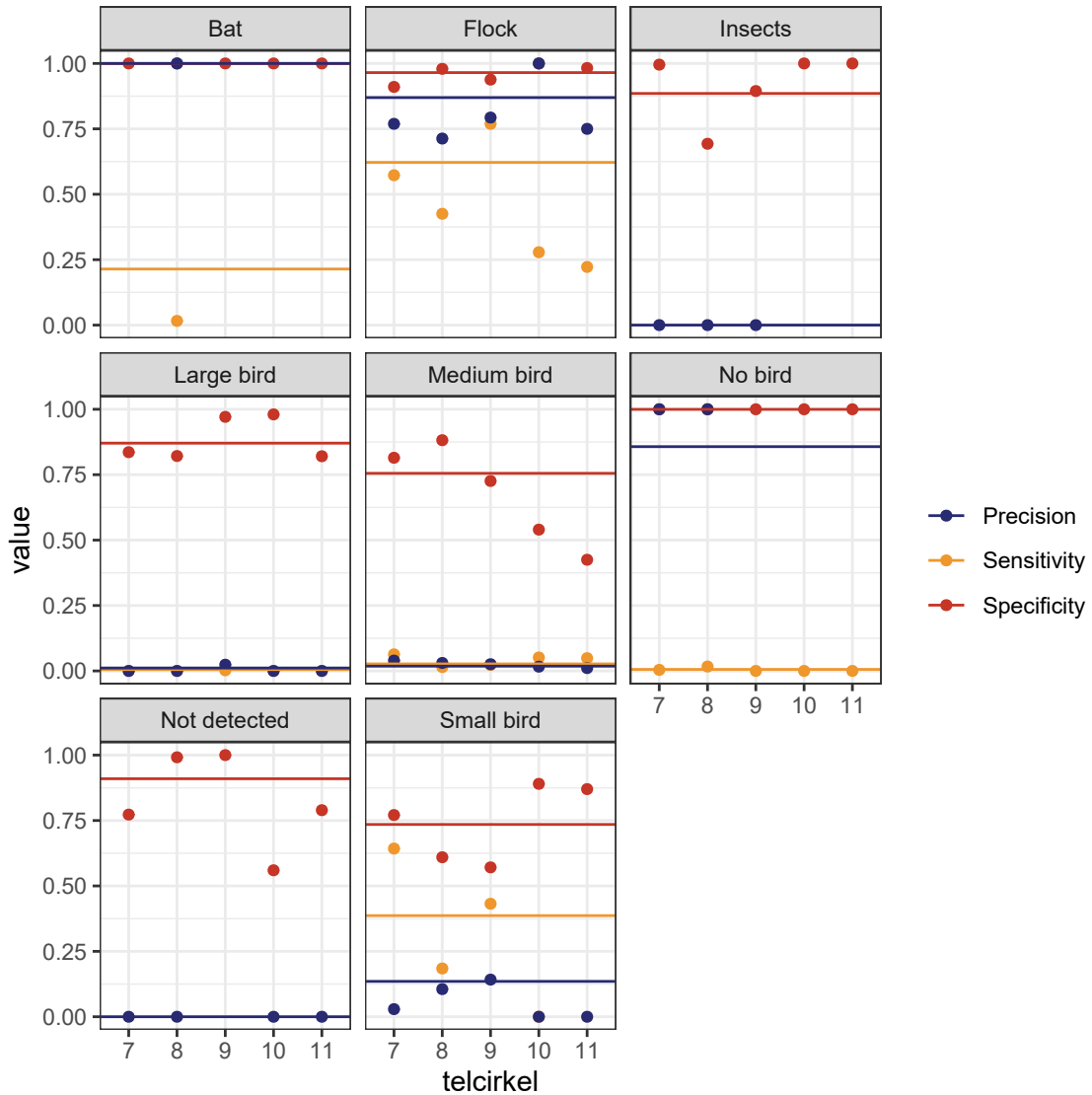




Figuur 4.31: Confusion matrix.

#### 4.6.1 Accuraatheid per telcirkel

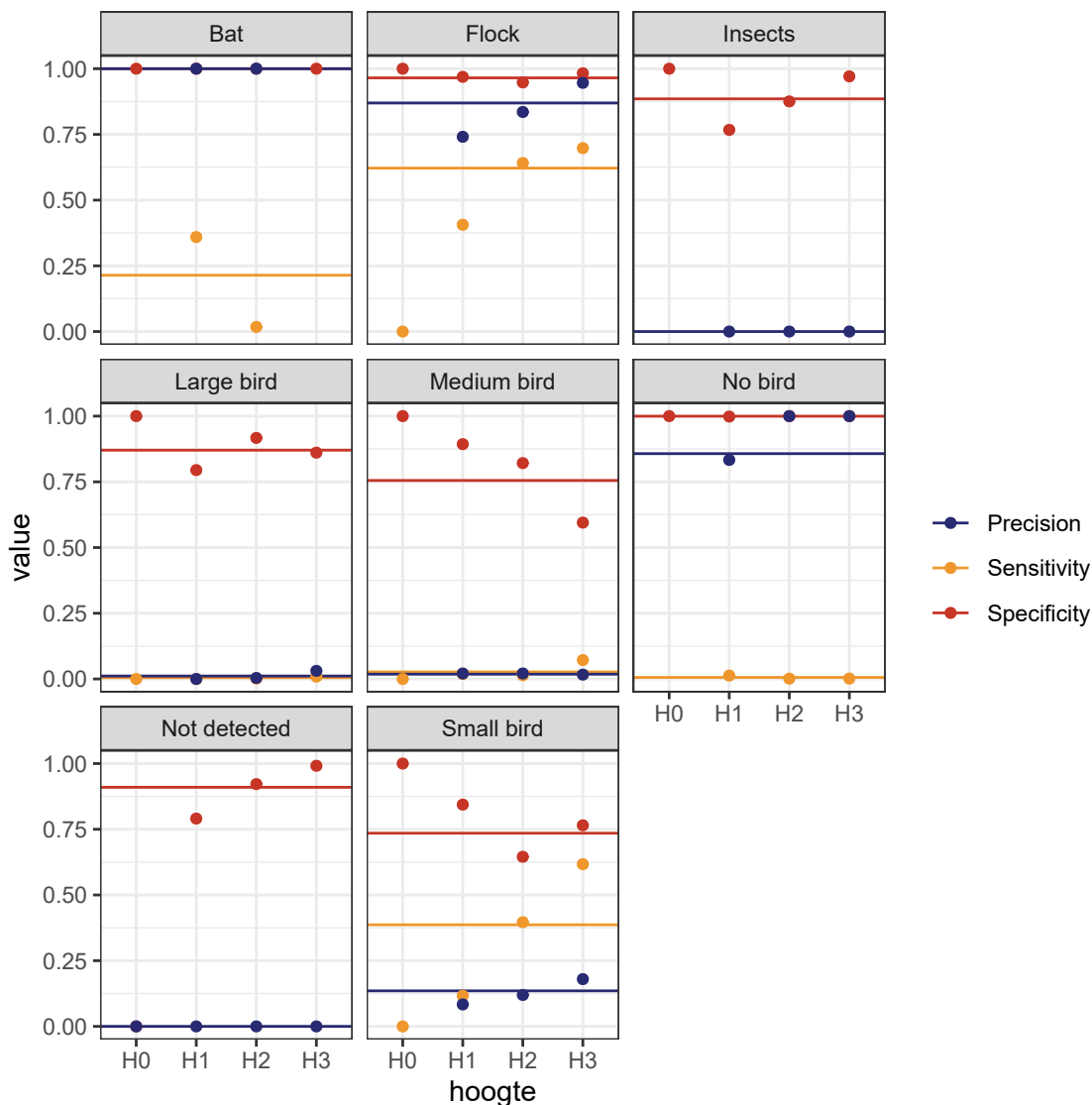
Figuur 4.32 toont de accuraatheid van de radarclassificatie per telcirkel. Enkel telcirkels met minstens 20 tracks en waar de telcirkel gekend is worden gebruikt. Ter illustratie bekijken we de "Flock" klasse. De specificiteit is hoog in alle telcirkels. Dit wil zeggen dat, als de radar een track niet als Flock classificeert, het meestal ook geen Flock is. De precisie schommelt rond 90%. Dit wil zeggen dat ongeveer negen van de tien tracks die door de radar als Flock worden geclassificeerd ook effectief Flocks zijn. De sensitiviteit is redelijk laag. Slechts ongeveer zes op de tien Flock tracks worden door de radar als Flock geclassificeerd.



Figuur 4.32: Accuraatheid in de verschillende telcirkels voor de verschillende klassen. De lijn toont de precisie, sensitiviteit en specificiteit in de volledige dataset (over alle telcirkels).

#### 4.6.2 Accuraatheid per hoogtecode

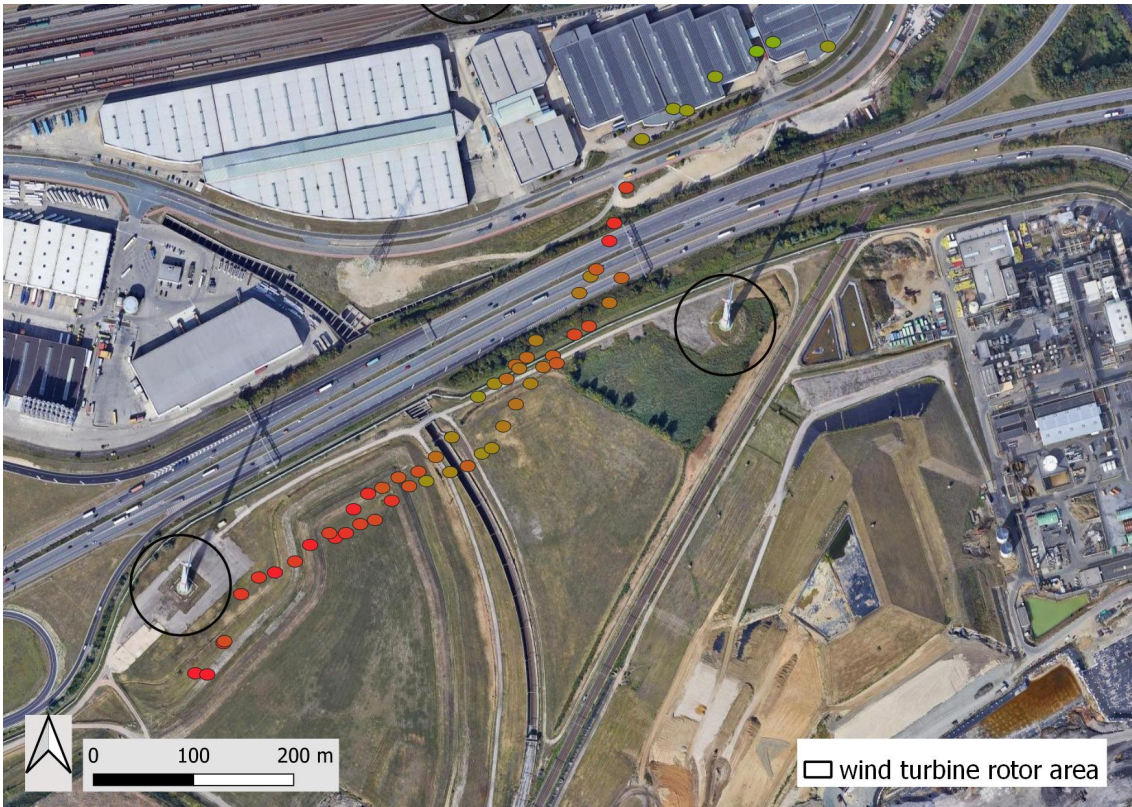
Figuur 4.33 toont de accuraatheid van de radarclassificatie per hoogtezone. Enkel hoogtezones met minstens 20 tracks en waar de hoogte gekend is, worden getoond.



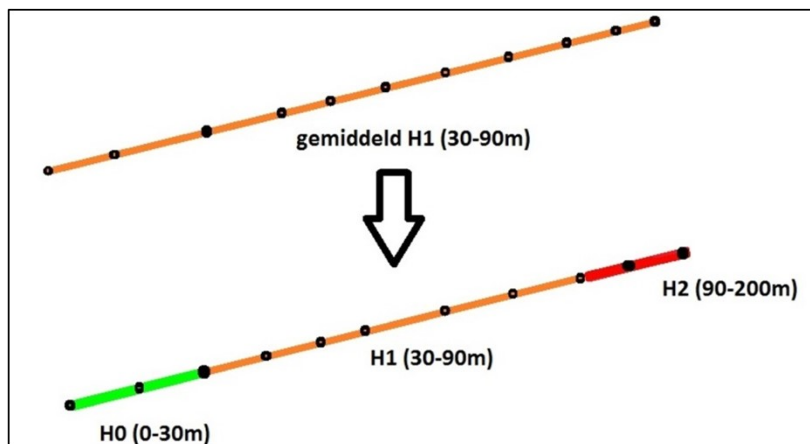
Figuur 4.33: Accuraatheid op de verschillende hoogtes voor de verschillende klassen. De lijn toont de precisie, sensitiviteit en specificiteit in de volledige dataset

## 4.7 METHODE VOOR 3D 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 4.34). Voor een bruikbare visualisatie en verdere analyse werd (voorlopig) zoals in (Everaert *et al.* (2022)) 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). Voor de windturbine-cluster ter hoogte van de Zandvlietsluis zijn de hoogteklassen ook extra opgesplitst op basis van de rotorhoogte van de daar aanwezige windturbines (extra opsplitsing H1 en H2. Elke track werd (waar van toepassing) opgesplitst op basis van de detailinfo van de plots (Figuur 4.35).



Figuur 4.34: Weergave van de verschillende plots (punten van detectie, zonder verbindingslijn) 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.

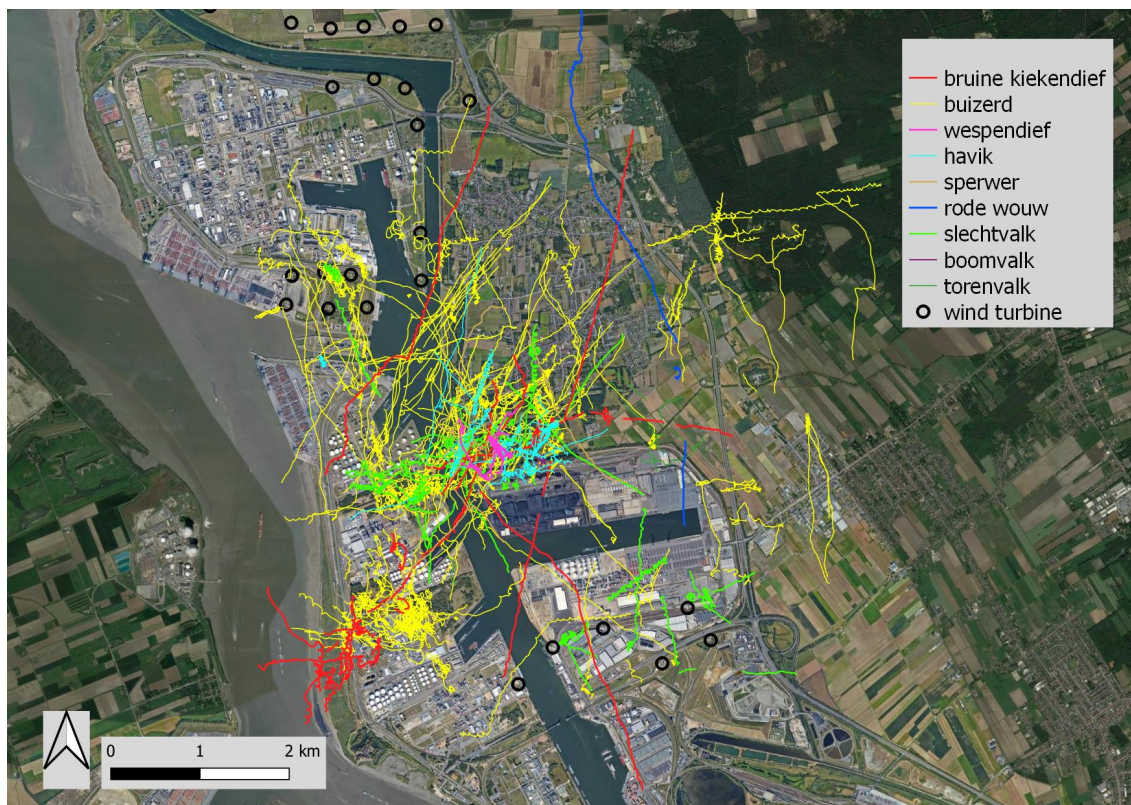


Figuur 4.35: Omzetting van track met gemiddelde hoogtewaarde naar opgesplitste track.



## 4.8 VOORBEELDEN VAN GEVALIDEERDE VOGEL- EN VLEERMUISTRACKS

In de onderstaande kaarten worden de tracks (vliegbewegingen) van een aantal gevalideerde vogel(groepen) en vleermuizen van de periode juni 2022 tot en met maart 2023 ruimtelijk weergegeven (Figuren 4.36-4.51). Door een fout in de database zoals aangeleverd door ROBIN radar systems zijn de gevalideerde tracks van maart tot mei 2022 helaas verloren gegaan. In de meeste onderstaande figuren worden de radartracks telkens opgesplitst per toegepaste hoogteklaas (zie boven). Let wel, het verschil in vlieghoogtes in de onderstaande figuren mag niet verkeerd geïnterpreteerd worden. Het is belangrijk te weten dat de detectiecapaciteit van de radar niet overal gelijk is (zie eerdere hoofdstukken).



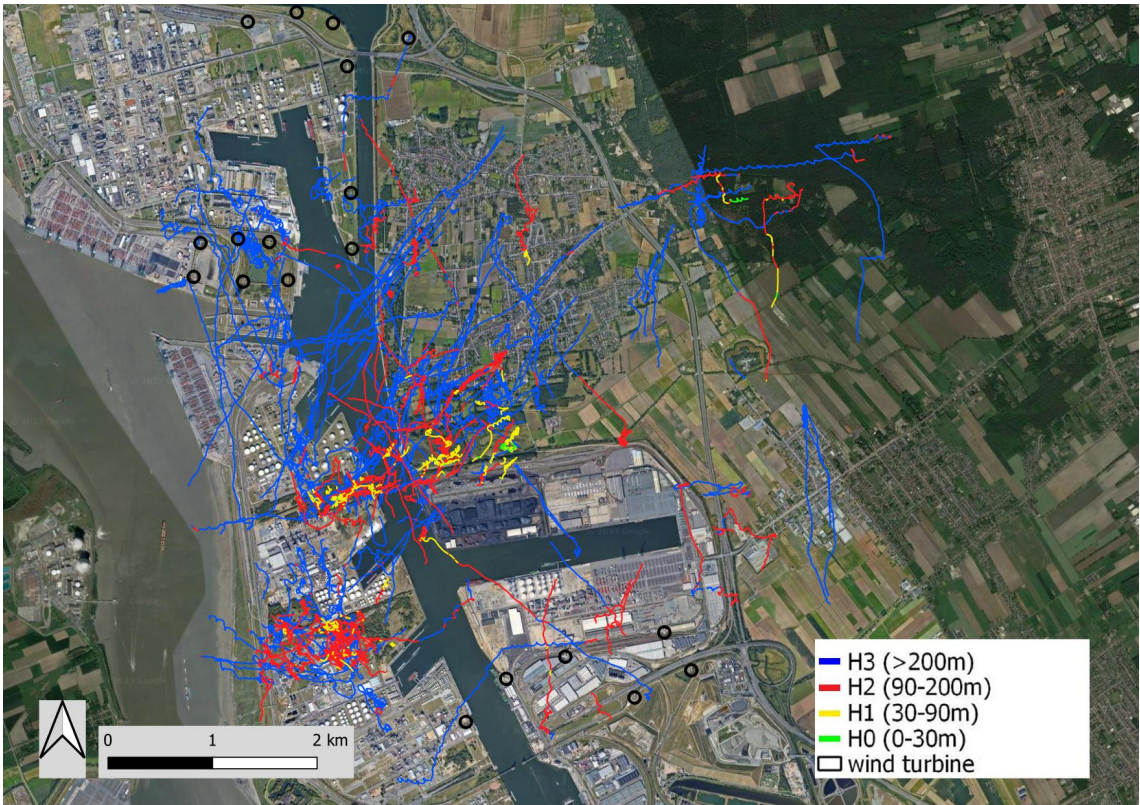
Figuur 4.36: Gevalideerde roofvogels in juni 2022 - maart 2023, per soort zonder indeling op basis van hoogteklassen

In het najaar van 2022 werd tijdens twee validatiesessies opvallende seizoenstrek vastgesteld van buizerd, met verschillende momenten waarbij meerdere vogels ongeveer tegelijk doortrekkend te zien waren ter hoogte van en vooral ook net ten noorden van het Opstalgebied, komende van de meer NO gesitueerde bossen waar ze eerst hoogte wonnen. De trekkende buizerds vlogen in de meeste gevallen op grote hoogte (vooral >200 m op H3). Hoewel het beeld van vlieghoogtes een vertekend beeld kan geven in bepaalde zones met minder goed zicht op lagere hoogtes (zie voorgaande hoofdstukken) vlogen de trekkende buizerds tijdens de validaties effectief vooral op grotere hoogtes. Maar ook de vliegbewegingen van lokale buizerds werden gedetecteerd en gevalideerd (Figuur 4.37).

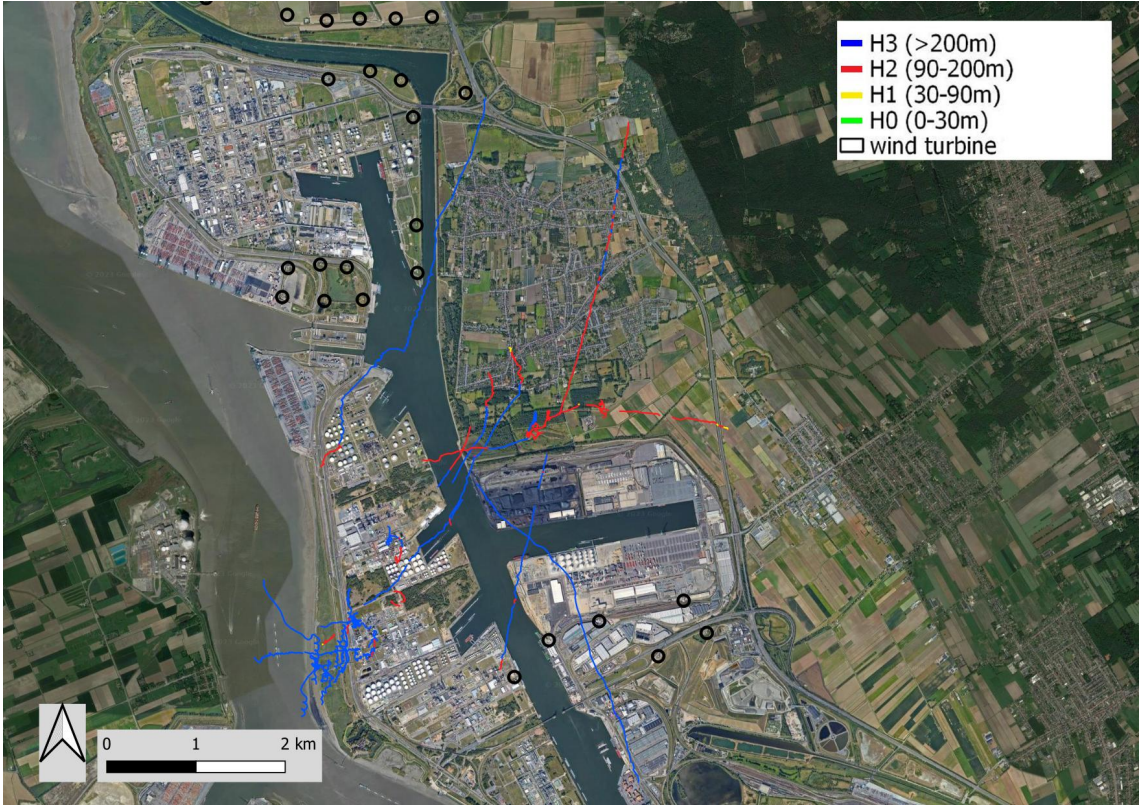
De gevalideerde tracks van bruine kiekendief tonen verschillende rondvliegende vogels hoog boven en rond het broedgebied Galgeschoor, maar ook o.a. voedselvlucht vliegbewegingen van lokale vogels in de wijde omgeving (Figuur 4.38). De lagere vliegbewegingen boven het Galgeschoor werden niet door de radar gedetecteerd. Verder zijn de gevalideerde vliegbewegingen van (wellicht vooral lokale) slechtvalken interessant. De slechtvalk werd regelmatig boven industrie waargenomen, ook soms op rotorhoogte nabij windturbines (Figuur 4.39).





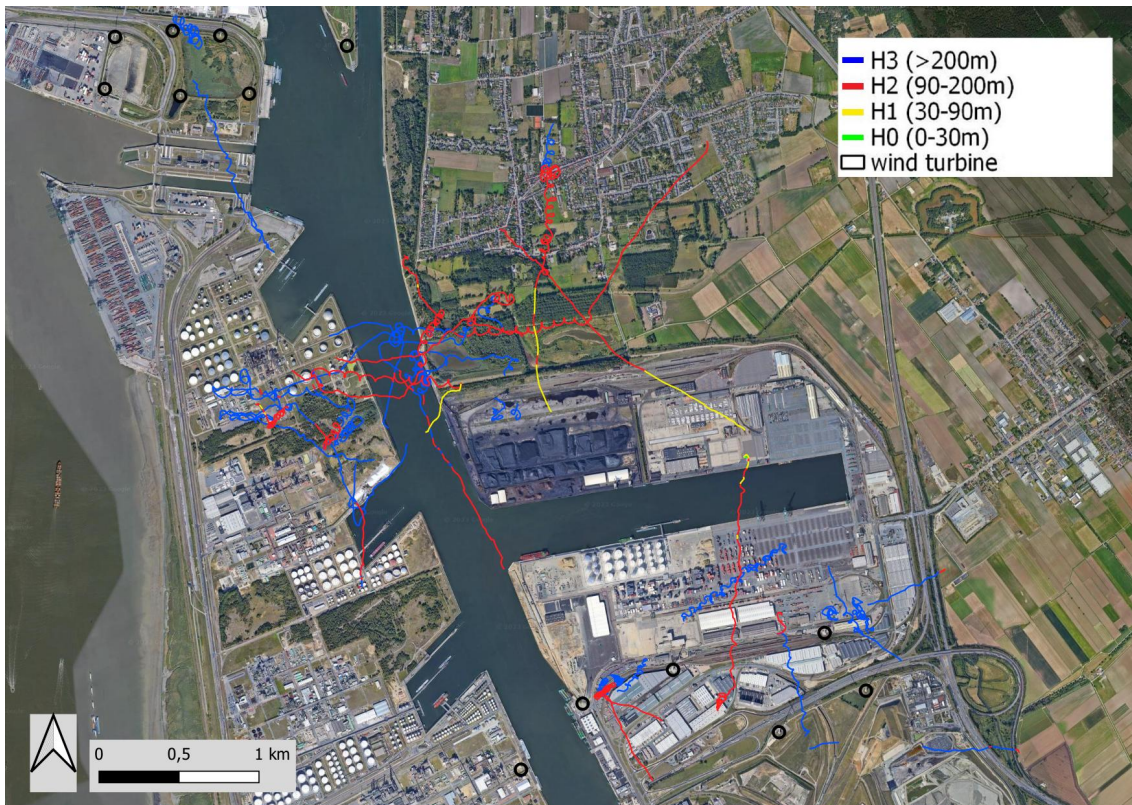


Figuur 4.37: Gevalideerde buizerds in juni 2022 - maart 2023



Figuur 4.38: Gevalideerde bruine kiekendieven in juni 2022 - maart 2023





Figuur 4.39: Gevalideerde slechtvalken in juni 2022 - maart 2023

Door de grote aantallen meeuwen in het havengebied (grote meeuwen ook broedend op daken in het zuidelijk deel van de Rechterscheldeoever) zijn er uiteraard ook veel gevalideerde radartracks. De figuren 4.40 en 4.41 tonen de respectievelijk kleine meeuwen (vooral kokmeeuw maar ook zwartkopmeeuw en stormmeeuw) en grote meeuwen (zilvermeeuw en kleine mantelmeeuw). Bijna overal in het focusgebied vliegen hoge aantallen meeuwen.

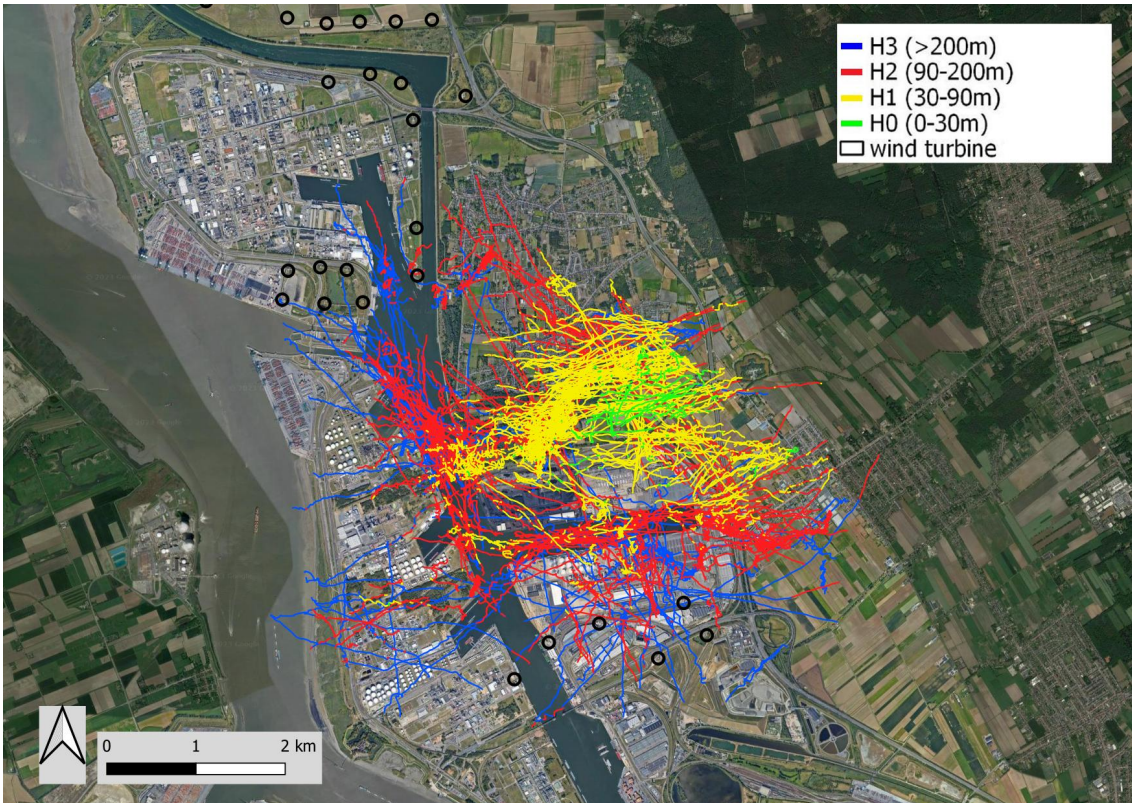
De gevalideerde eenden (Figuur 4.42) geven een mooi beeld van vooral lokale eenden die vanuit de waterplassen in het Opstalgebied-West 's avonds wegvliegen in verschillende richtingen en 's nachts of 's morgens weer terugkomen. Het ging hierbij vooral om wilde eend, maar ook in kleinere aantallen o.a. smient, wintertaling, slobeend, krakeend en bergeend. Een aanzienlijk aantal eenden vloog 's avonds richting polders ten oosten van de A12. Soms werden ook eenden waargenomen (eend spec. maar o.a. ook smient) die vanuit meer westelijke gebieden (ook vanuit de Linkerscheldeoever) op grote hoogte kwamen aangevlogen en deels doorvlogen boven het Opstalgebied.

De gevalideerde ganzen (Figuur 4.43) geven net zoals de eenden ook een mooi beeld van de dagelijkse vliegbewegingen vooral lokale ganzen. Zo zaten tijdens de winterperiode overdag regelmatig vele tientallen grauwe ganzen op de velden in het Opstalgebied (vooral meest oostelijke zone nabij de A12) en vlogen deze ganzen 's avonds naar de slaapplek op de meest westelijke waterplas van het Opstalgebied. Soms waren er ook omgekeerde bewegingen merkbaar, en werd er ook uitwisseling gezien met gebieden langs de Schelde (en Linkeroever?). Een groot deel van de op grote hoogte gedetecteerde ganzen betrof groepjes kolganzen vanuit de gebieden op de Linkerscheldeoever.

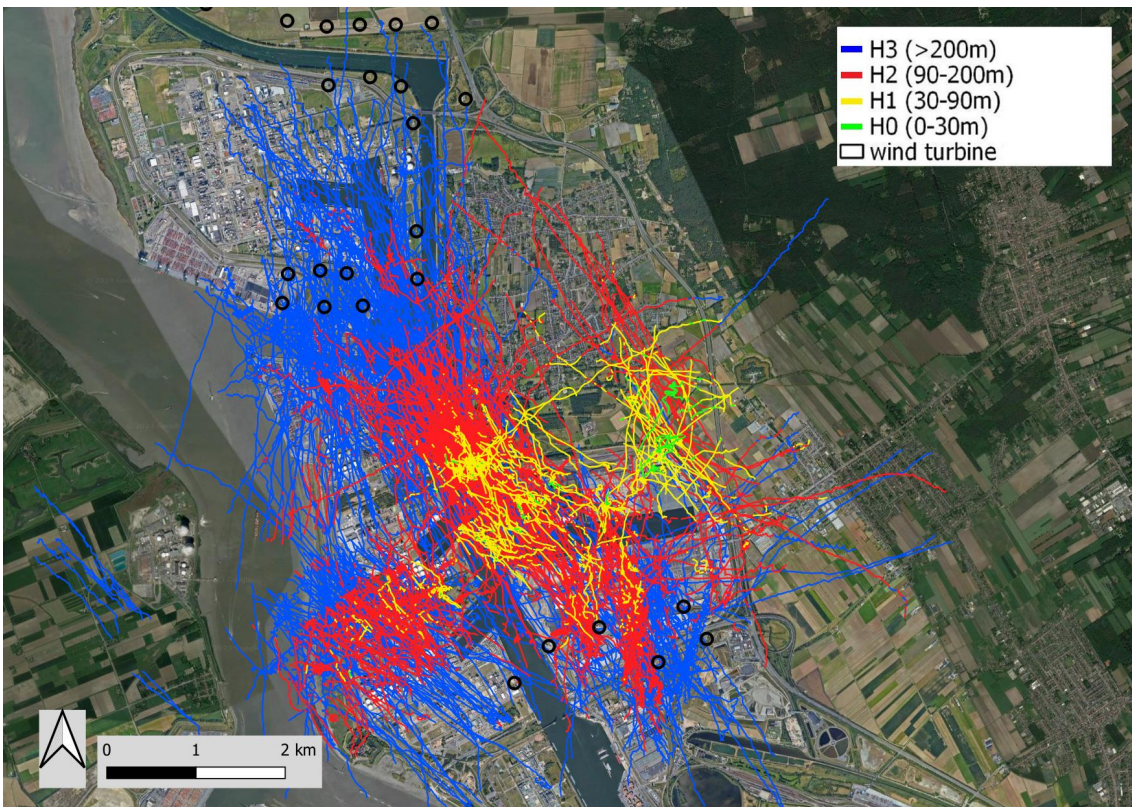
De gevalideerde Kieviten (Figuur 4.44) betroffen vooral lokale vliegbewegingen. Er werd hierbij ook uitwisseling gezien met gebieden langs de Schelde (en Linkeroever?), vaak 's avonds in het Opstalgebied overvliegend (of verderop landend) in oostelijke richtingen.

Enkele gevalideerde lepelaars vlogen vrijwel allemaal op rotorhoogte in N-Z richting van/naar het gebied De Kuifeend, ook nabij windturbines (Figuur 4.45).



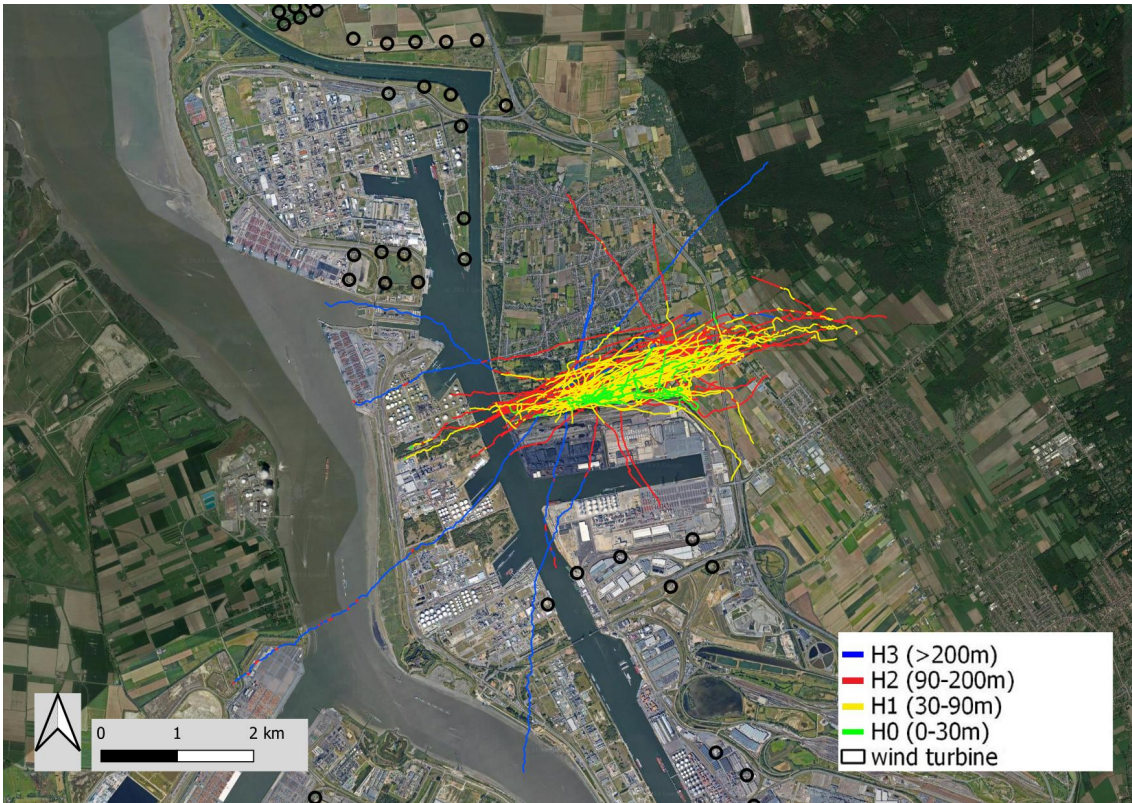


Figuur 4.40: Alle gevalideerde kleine meeuwen in juni 2022 - maart 2023

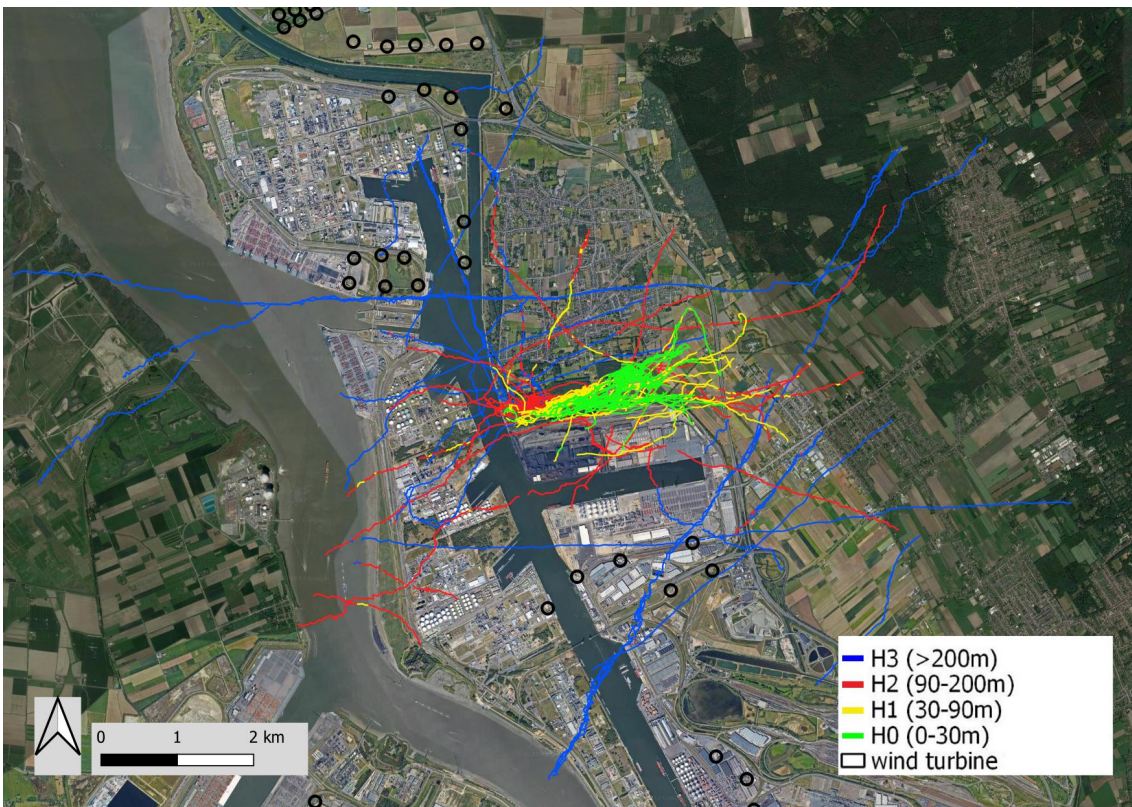


Figuur 4.41: Alle gevalideerde grote meeuwen in juni 2022 - maart 2023



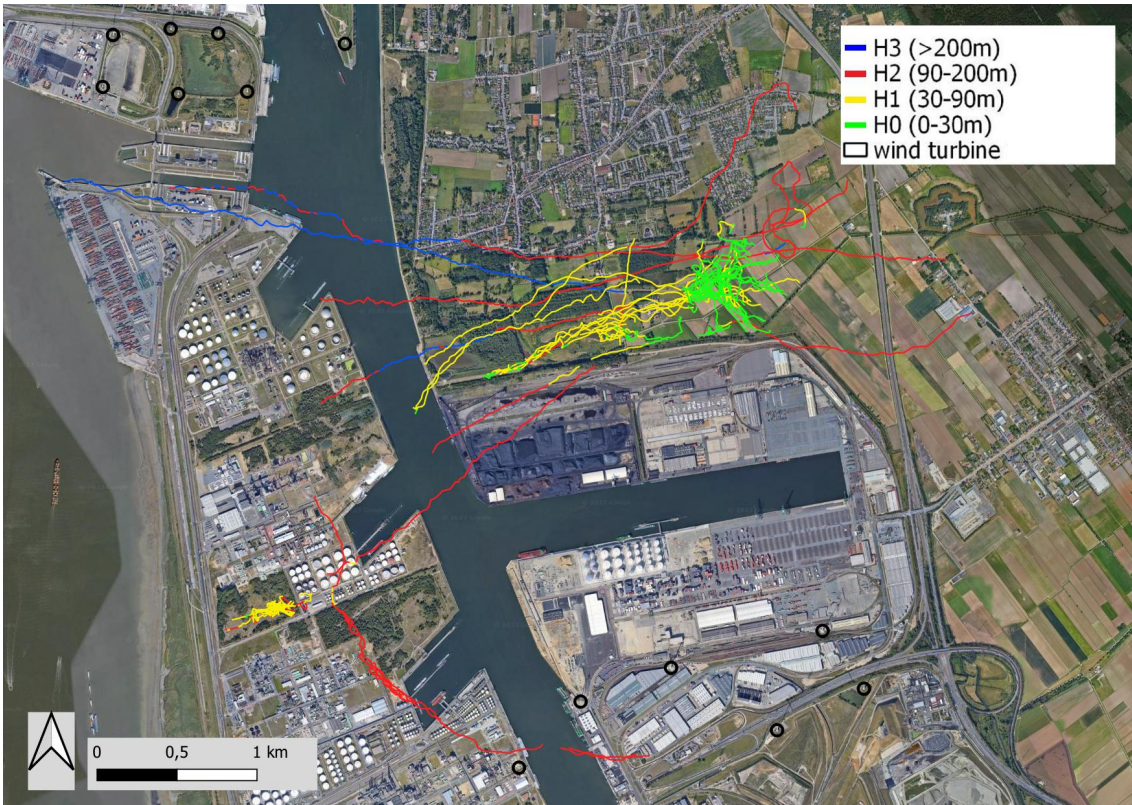


Figuur 4.42: Alle gevalideerde eenden in juni 2022 - maart 2023

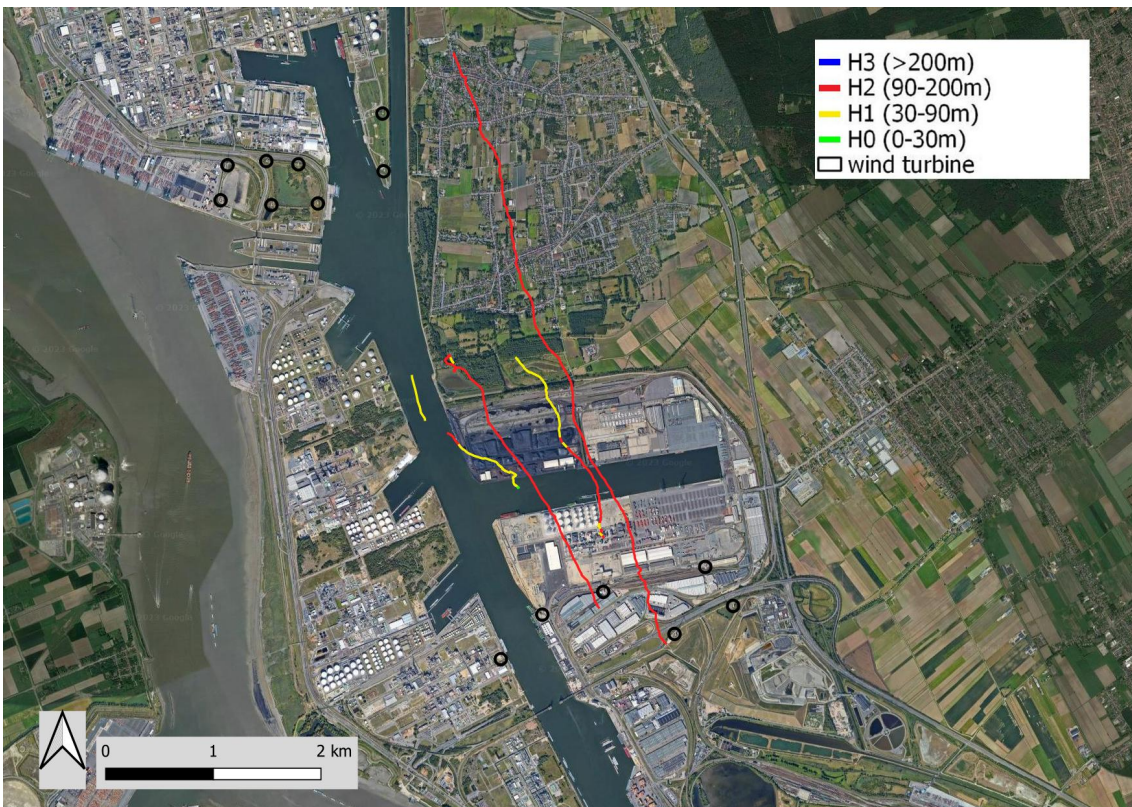


Figuur 4.43: Alle gevalideerde ganzen in juni 2022 - maart 2023





Figuur 4.44: Alle gevalideerde kieviten in juni 2022 - maart 2023



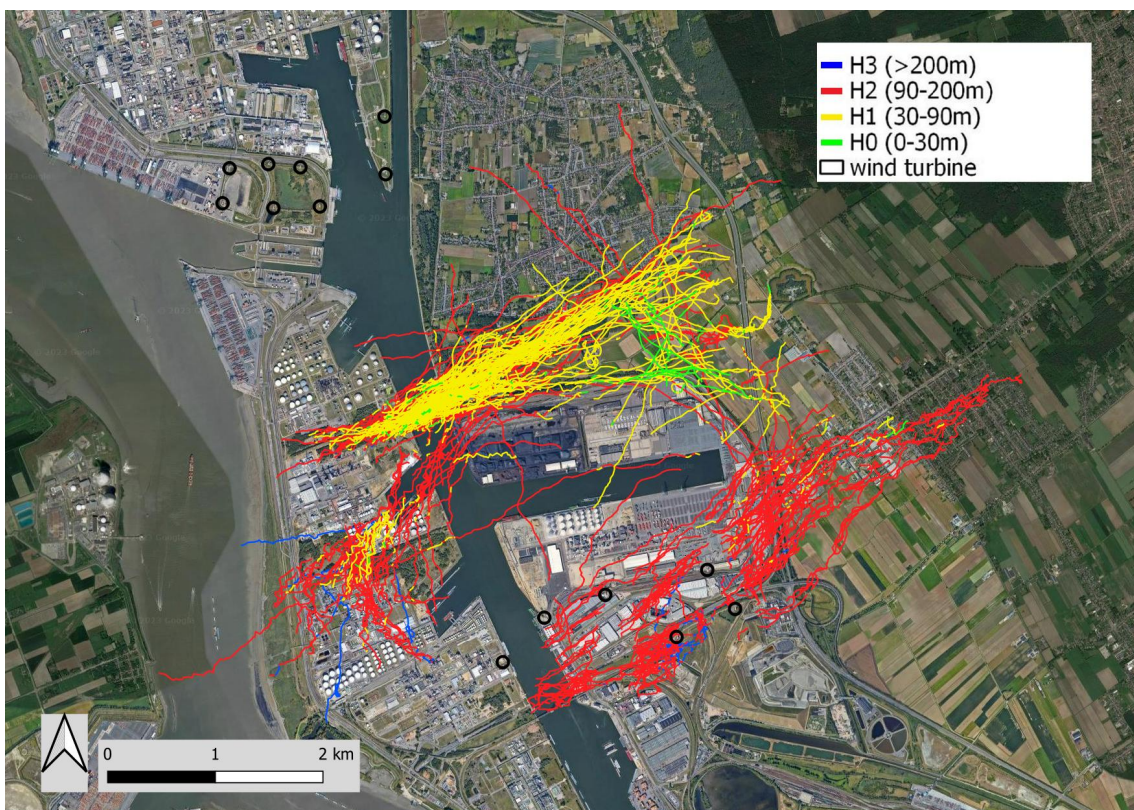
Figuur 4.45: Alle gevalideerde lepelaars in juni 2022 - maart 2023



Lokale vliegbewegingen van houtduif (Figuur 4.46) en kauw (Figuur 4.47) werden elke avond gezien in de richting van de slaapplekken in het havengebied, vooral komende vanuit oostelijk gelegen gebieden. Hierbij werd ook op rotorhoogte van nabije windturbines gevolgd.

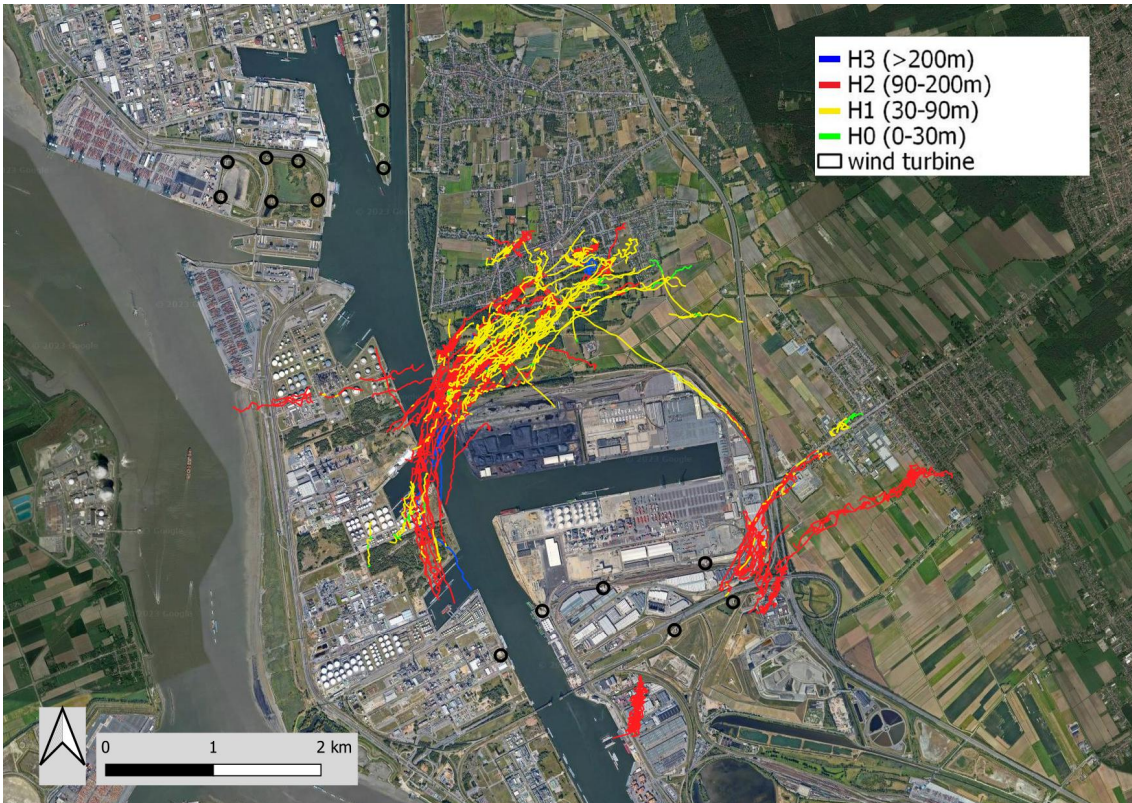
Op 15 maart 2023 werd voorjaarstrek van veldleeuwerik vastgesteld die ook doorheen het havengebied ging (Figuur 4.48). Op 29 maart konden ook enkele tracks worden gevalideerd van de zangvlucht van een plaatselijke vogel in het Opstalgebied, waarbij de vlieghoogte een interessant beeld geeft (Figuur 4.49).

Grote aantallen jagende zwaluwen werden o.a. in de zomer en het najaar vastgesteld boven en rond de velden van het Opstalgebied (Figuur 4.50). Boven de velden van het Opstalgebied ging het hierbij vaak om grote groepen van boerenzwaluw (enkele honderden tot een paar duizend) en deels ook huiszwaluw en gierzwaluw. Jagende gierzwaluwen werden dan weer vaak gedetecteerd boven de woonzones in Berendrecht maar ook boven de bosgedeeltes errond. Op grote hoogte in zuidelijke richting overvliegende gierzwaluwen zijn ook meermaals in de vooravond vastgesteld boven een deel van de industriezone (zie ook in Everaert *et al.* (2022)) maar slechts een deel daarvan kon door de radar verder zuidelijk gedetecteerd worden.

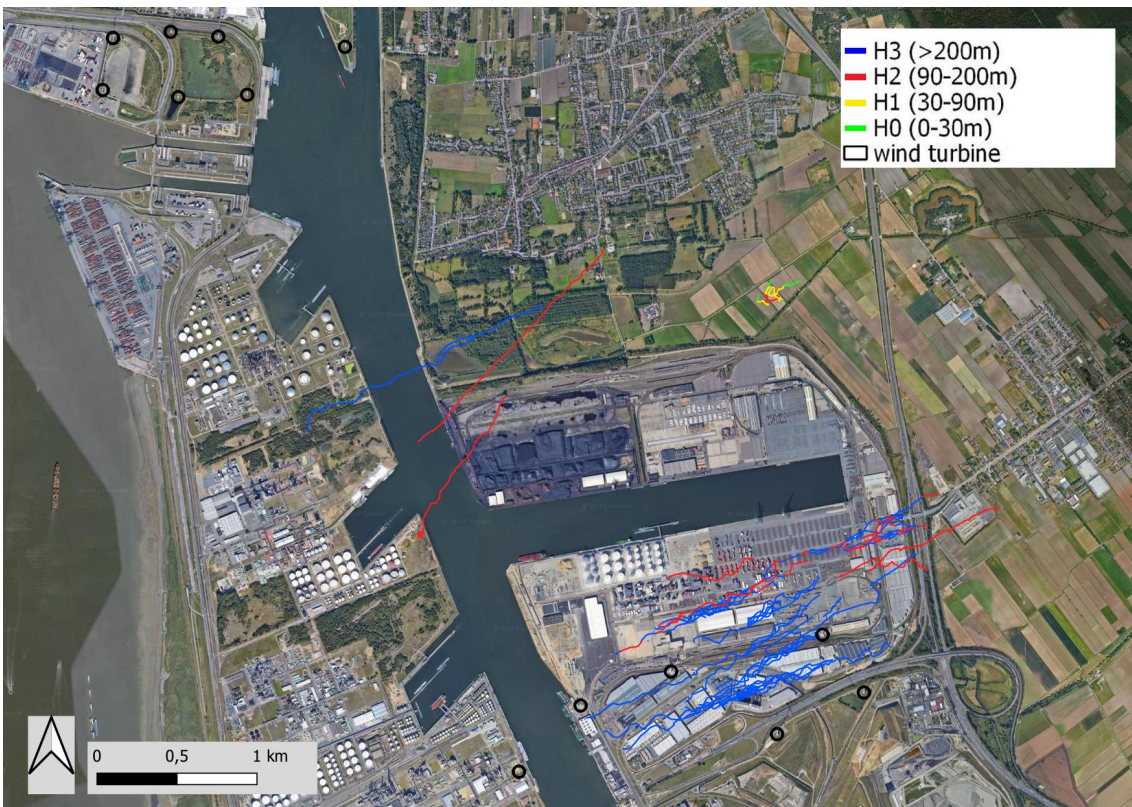


Figuur 4.46: Alle gevalideerde houtduiven in juni 2022 - maart 2023



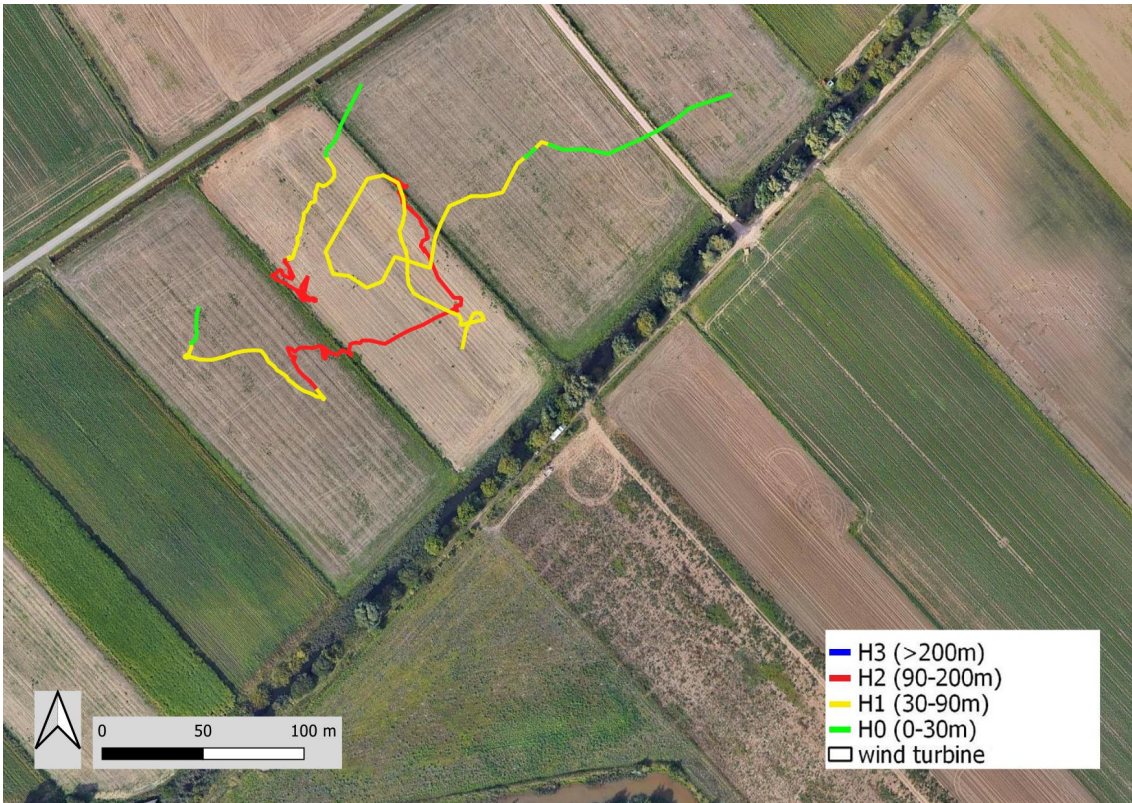


Figuur 4.47: Alle gevalideerde kauwen in juni 2022 - maart 2023

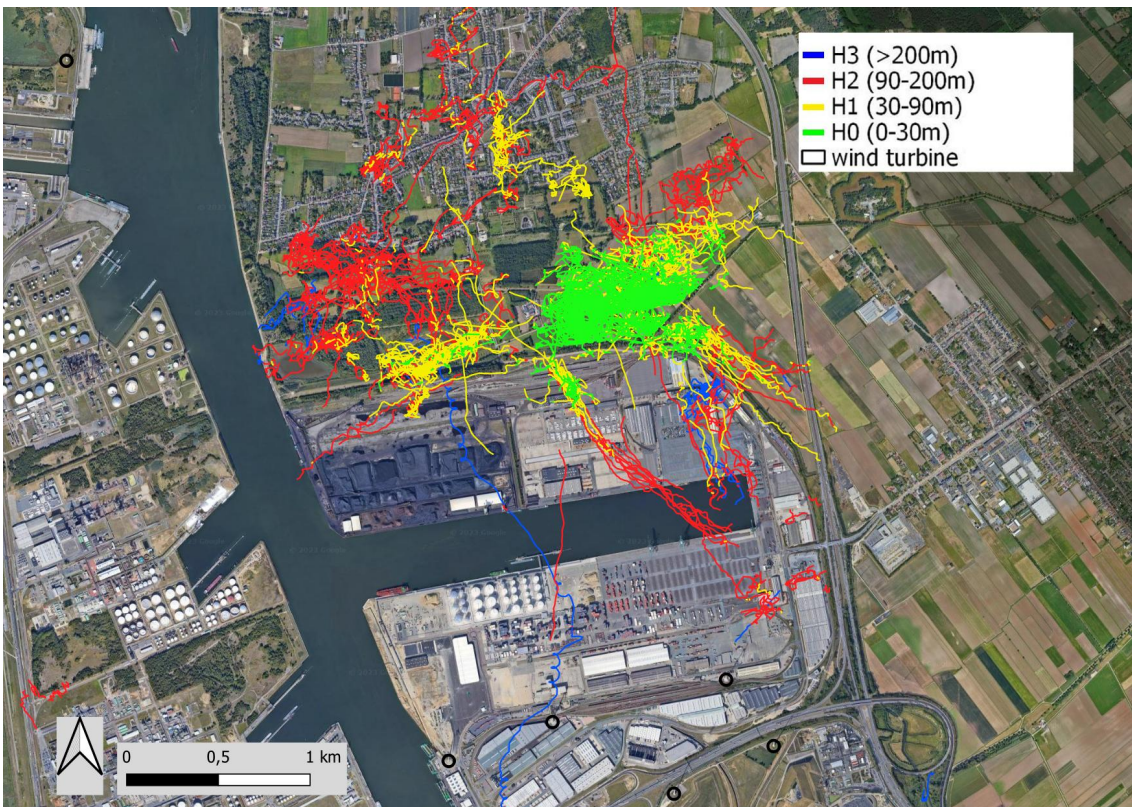


Figuur 4.48: Alle gevalideerde veldleeuweriken in juni 2022 - maart 2023





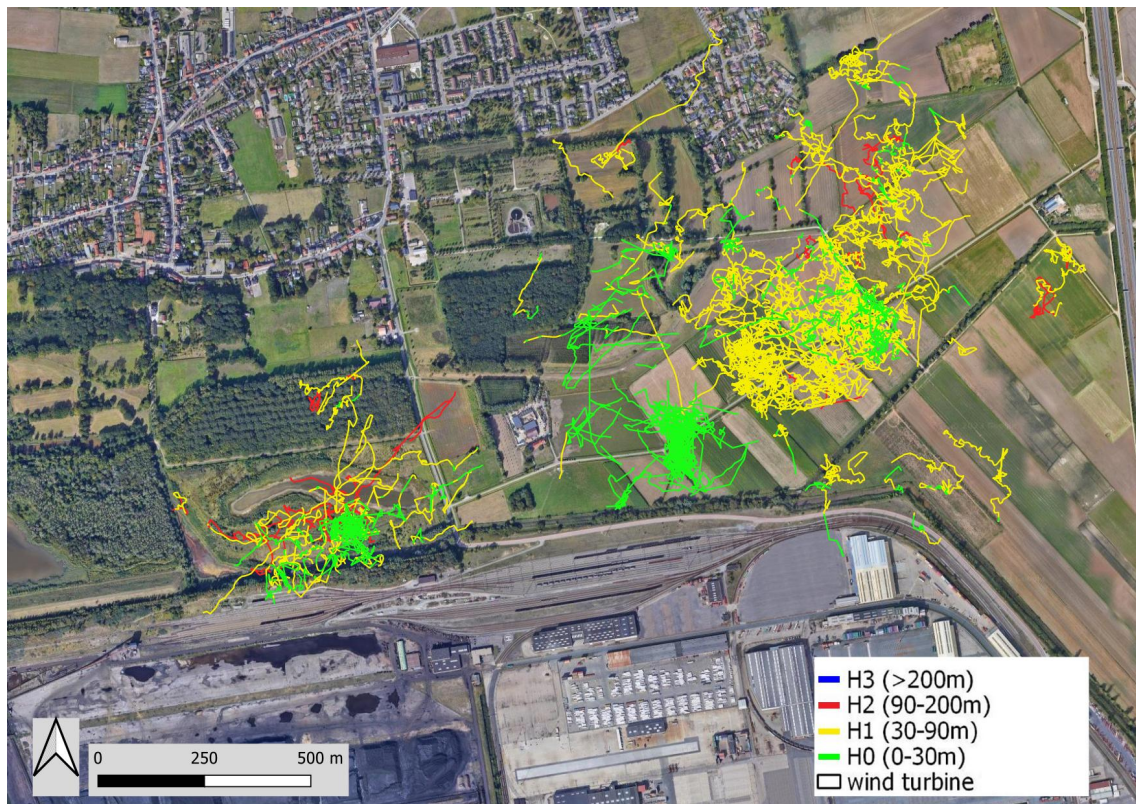
Figuur 4.49: Gevalideerde tracks van de zangvlucht van een veldleeuwerik op 29 maart 2023



Figuur 4.50: Alle gevalideerde zwaluwen ter hoogte van het Opstalgebied en omgeving in 2022



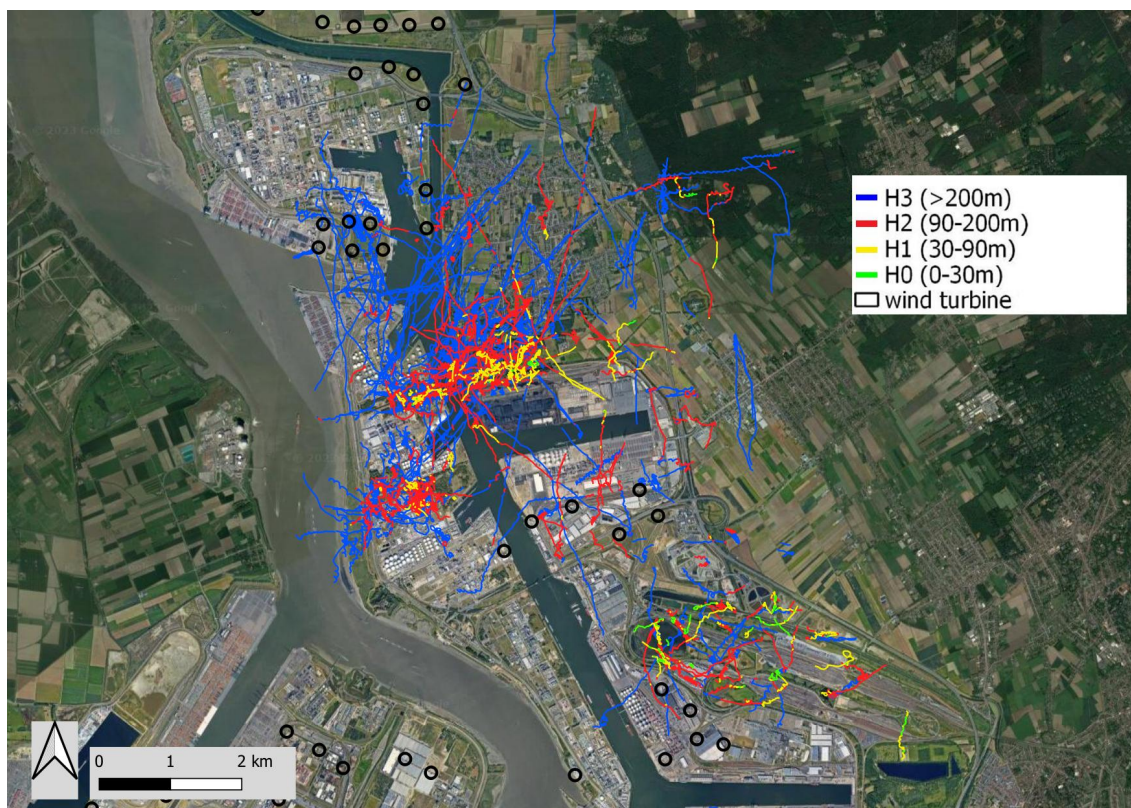
In de zomer en het najaar konden gedurende verschillende avonden aanzienlijke aantallen vleermuizen worden gevalideerd in en rond het Opstalgebied, ook boven de velden waar bijvoorbeeld overdag zwalwen foerageerden op insecten (Figuur 4.51).



Figuur 4.51: Alle gevalideerde vleermuizen ter hoogte van het Opstalgebied in 2022

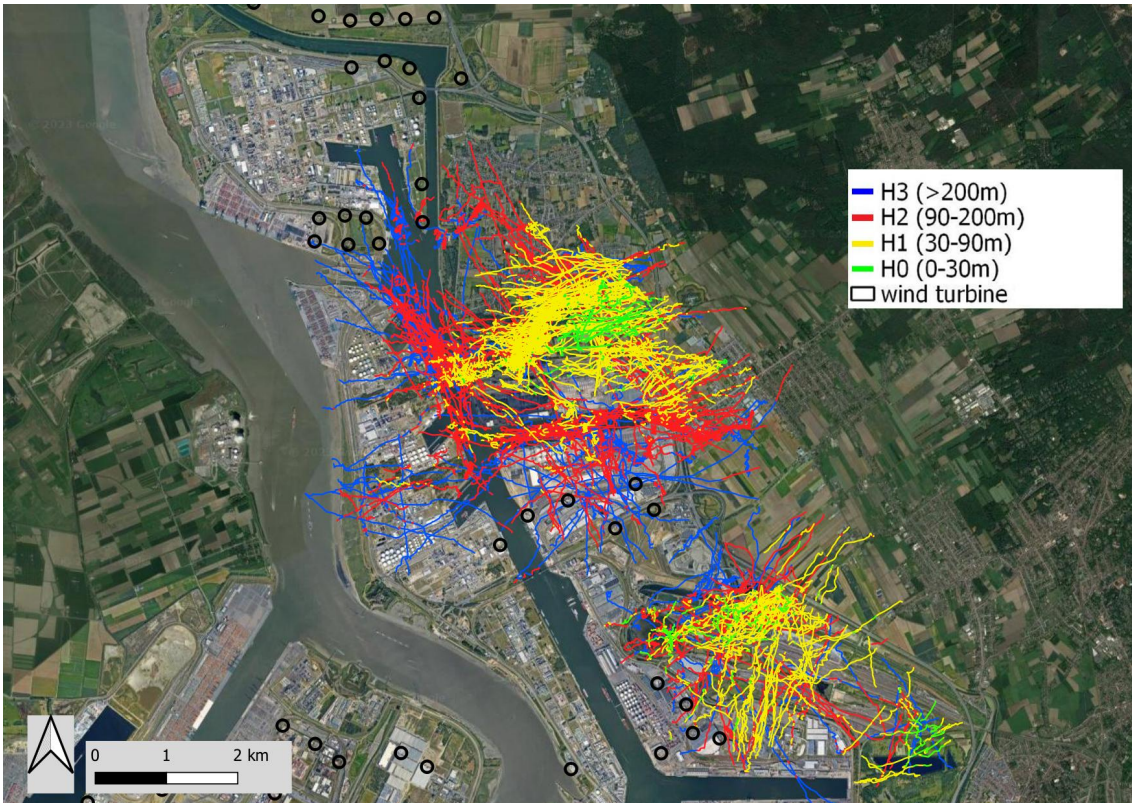
## 4.9 COMBINATIE MET GEVALIDEERDE VOGELTRACKS IN 2021

In het onderzoeksjaar 2021 stond de radar in de polder van Stabroek (zie in Everaert *et al.* (2022)). Hierbij was er een minder goede detectiecapaciteit voor vogels in het Opstalgebied en andere noordelijke zones, maar wel van de meer centrale en zuidelijke zones van het havengebied. In onderstaande figuren (4.52-4.60) is voor enkele soortgroepen een combinatie gemaakt van alle gevalideerde tracks in 2021 tot maart 2023. Het resultaat geeft een beter beeld van de vliegbewegingen in het volledige havengebied, hoewel ook hierbij moet rekening gehouden worden met zones waar er een minder goede radardetectie was.

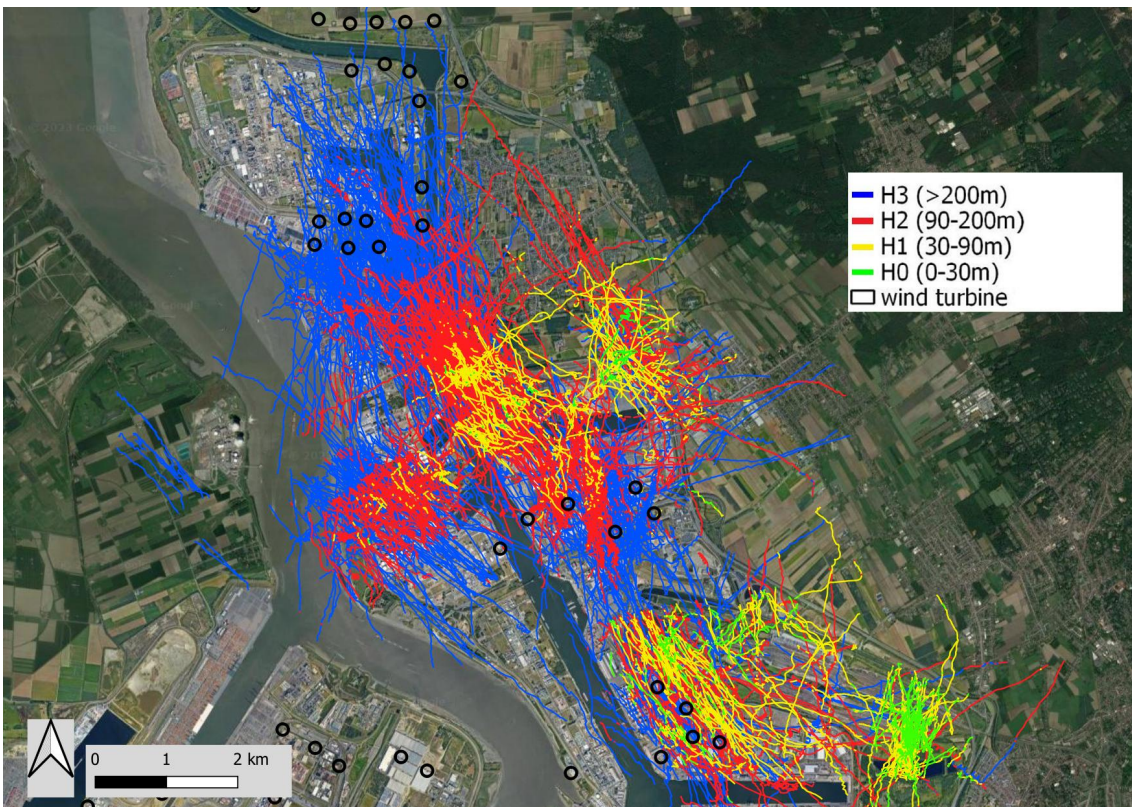


Figuur 4.52: Alle gevalideerde roofvogels in 2021 - 2023



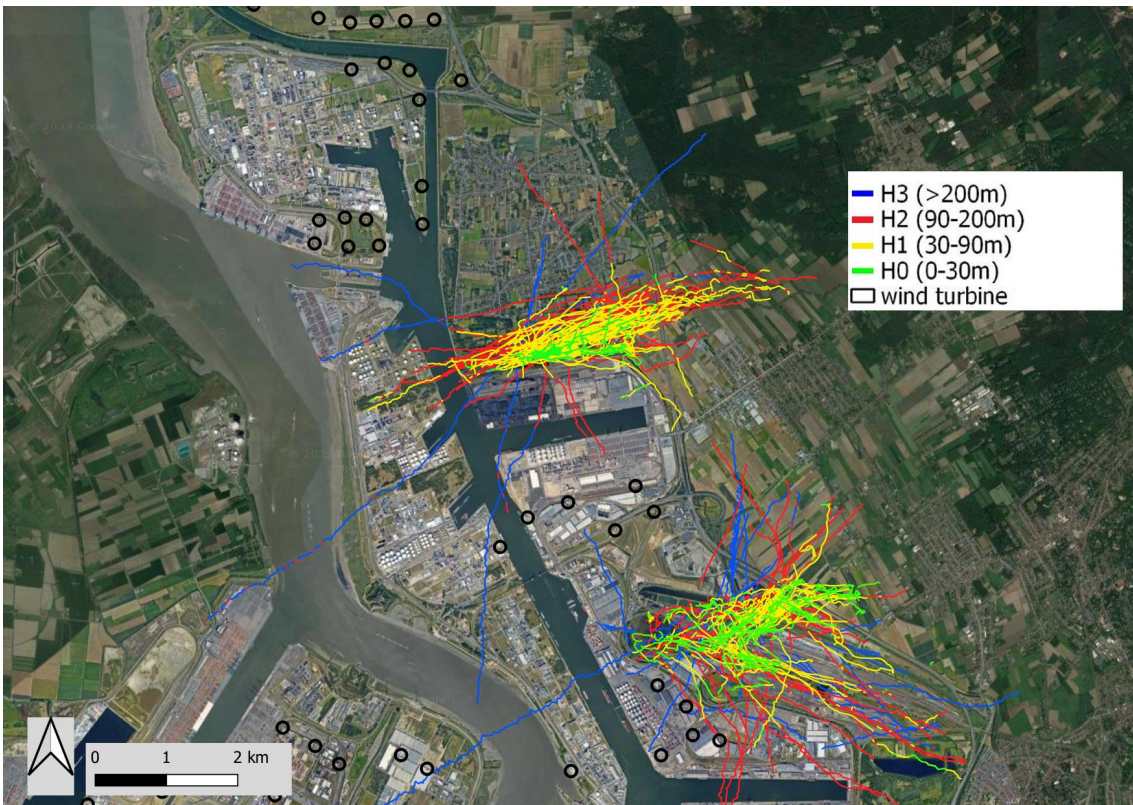


Figuur 4.53: Alle gevalideerde kleine meeuwen in 2021 - 2023

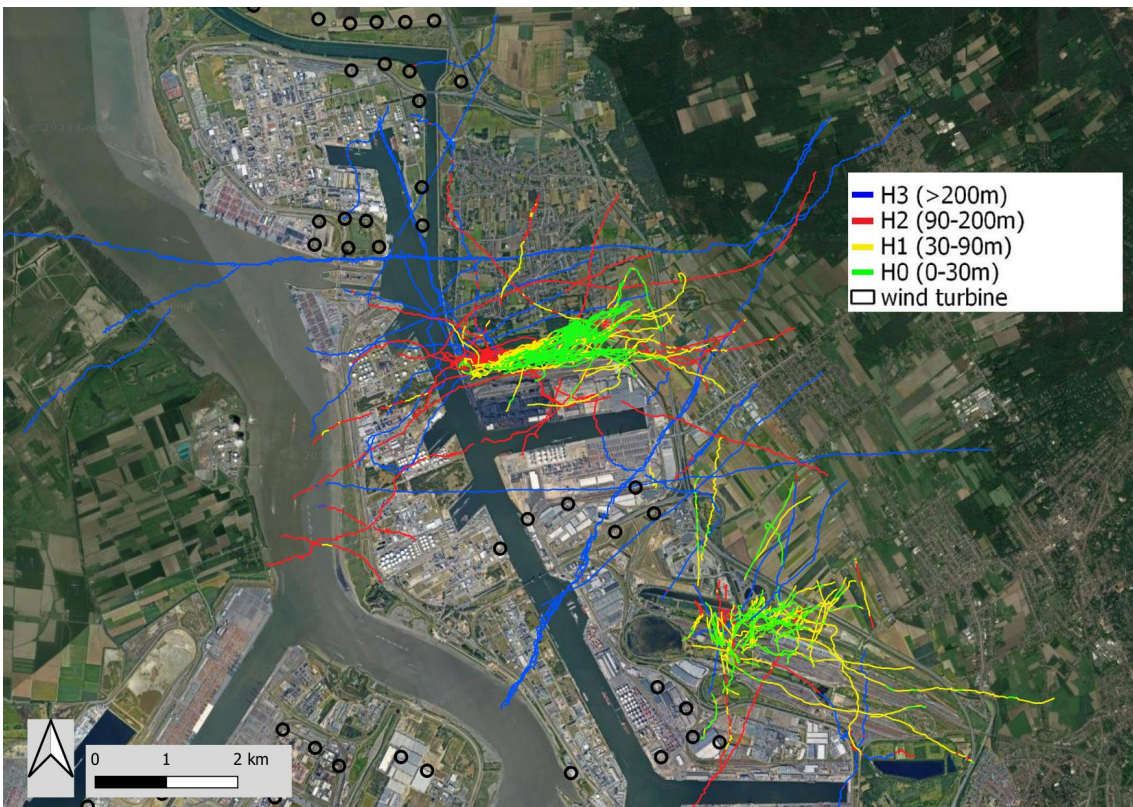


Figuur 4.54: Alle gevalideerde grote meeuwen in 2021 - 2023



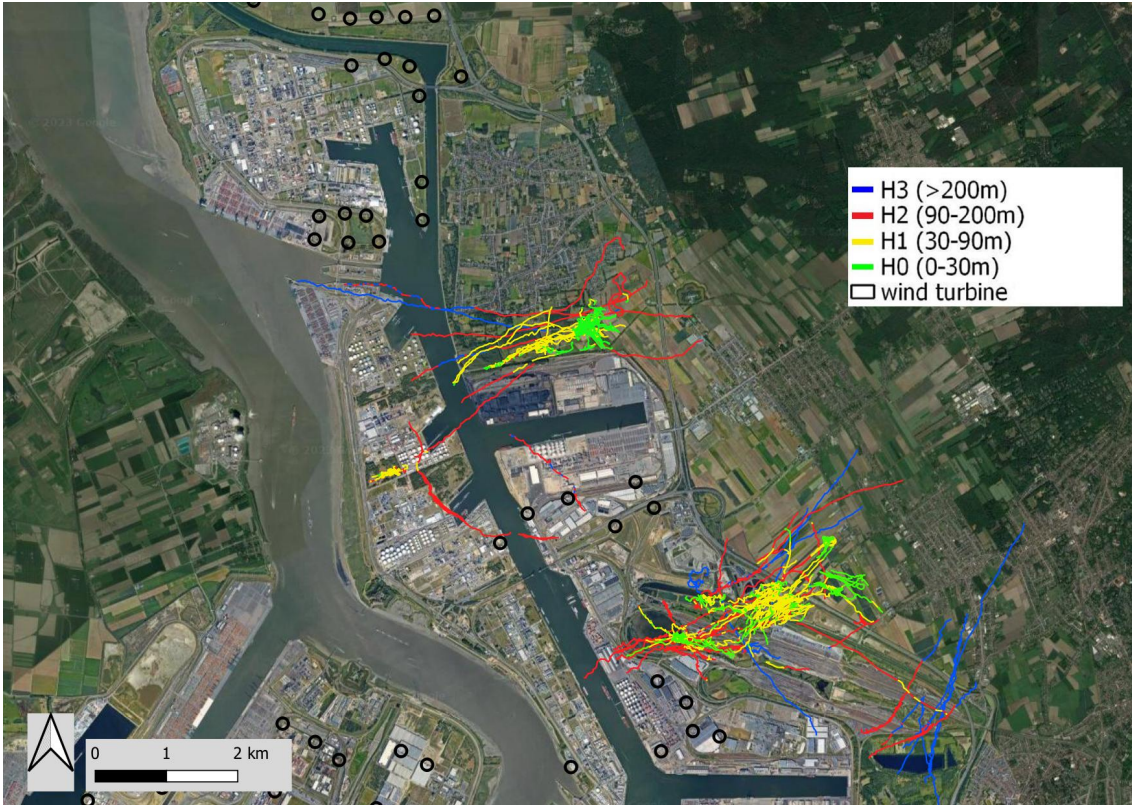


Figuur 4.55: Alle gevalideerde eenden in 2021 - 2023

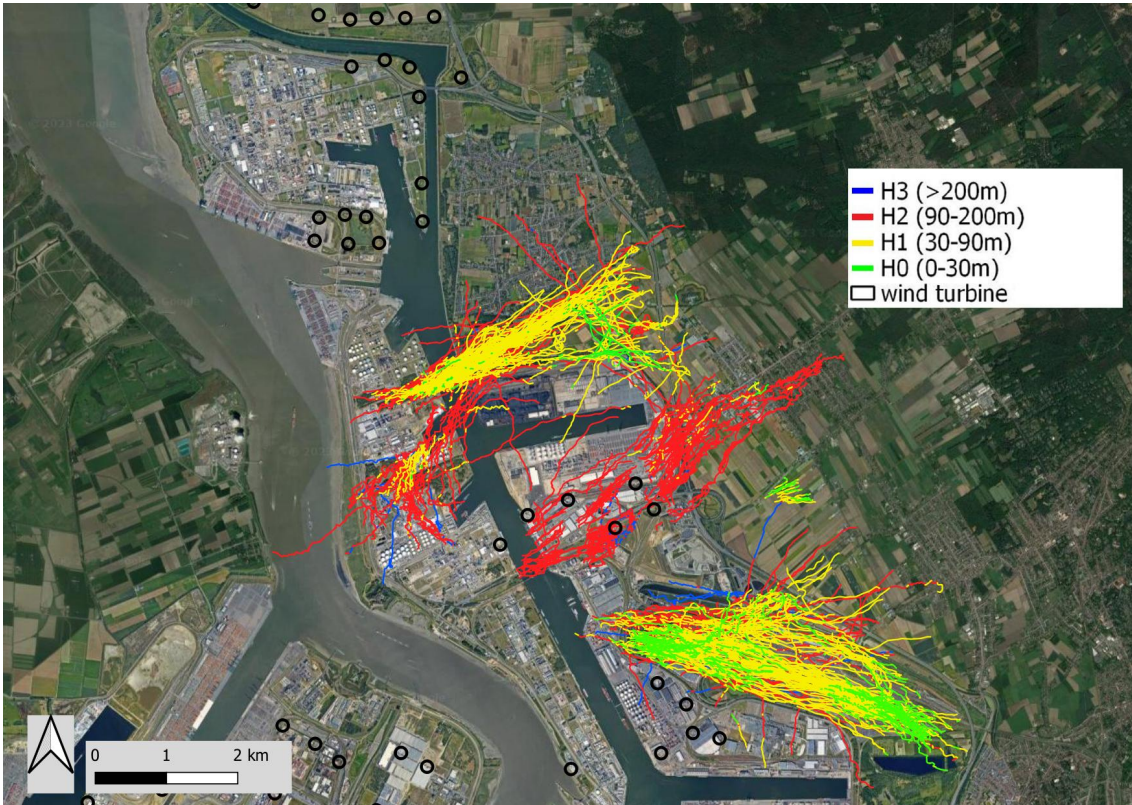


Figuur 4.56: Alle gevalideerde ganzen in 2021 - 2023



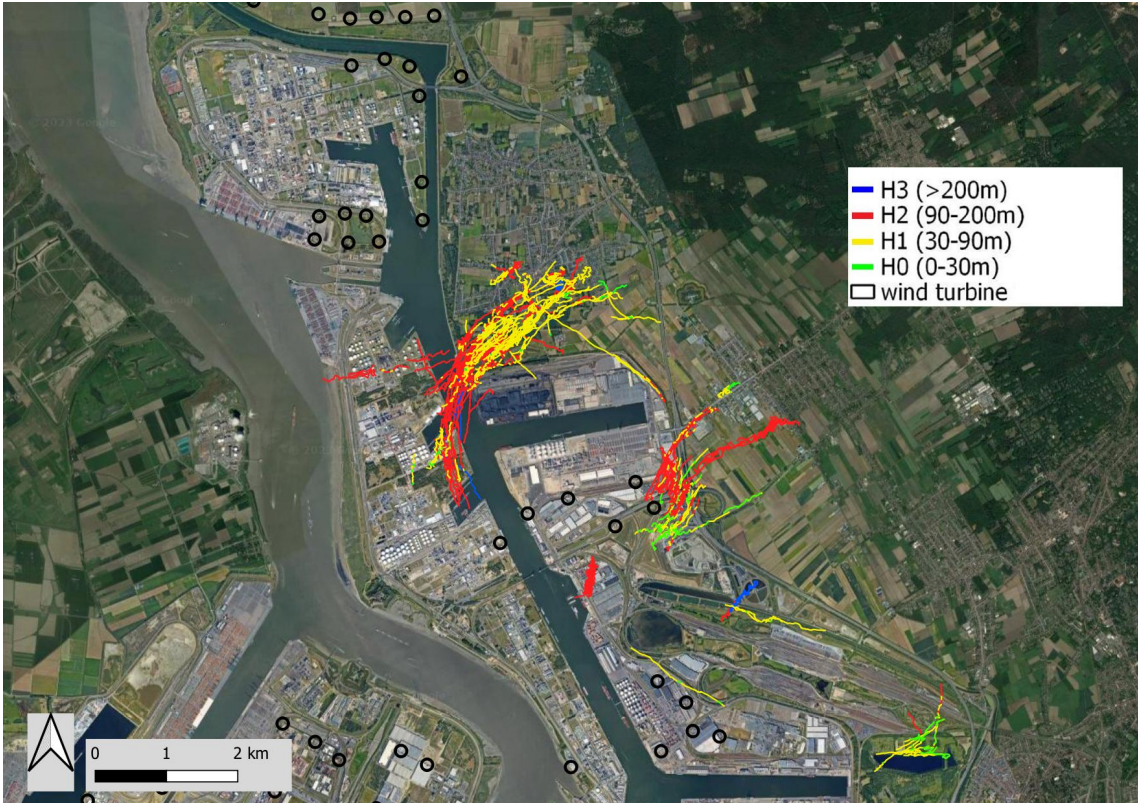


Figuur 4.57: Alle gevalideerde Kieviten in 2021 - 2023

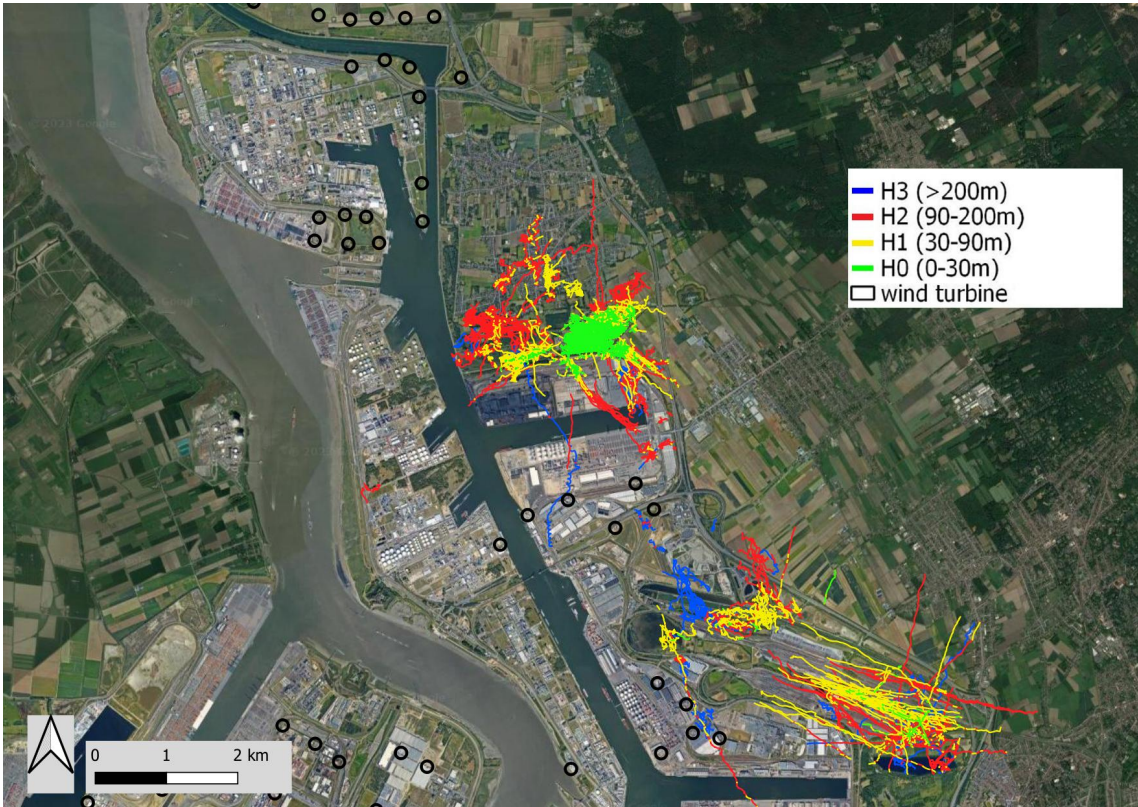


Figuur 4.58: Alle gevalideerde houtduiven in 2021 - 2023





Figuur 4.59: Alle gevalideerde kauwen in 2021 - 2023



Figuur 4.60: Alle gevalideerde zwaluwen in 2021 - 2023

## 4.10 OPVALLENDE VLEGBEWEGINGEN MET SELECTIE VAN ALLE RADARTRACKS

Hieronder volgt een overzicht van een aantal bijzondere momenten van opvallende vogeltrek, zowel lokale bewegingen (watervogels) als seizoenstrek. Hiervoor is uit de volledige radardataset een selectie gemaakt van specifieke dagen, momenten van de dag/nacht en/of specifieke radar-vogelklassen.

Hoewel op basis van opvallende vliegbewegingen tijdens de validatiesessies een selectie kan gemaakt worden uit de volledige radartrack database (bv. tijdens de avondschemering als watervogels zich verplaatsen, of tijdens een piek van seizoenstrek), blijft het vaak een uitdaging om met behulp daarvan te bepalen om welke soorten/soortgroepen het gaat. Er zijn momenteel wel ontwikkelingen om met behulp van artificiële intelligentie op basis van bepaalde gevalideerde tracks, een vrij goede voorspelling te maken van de soort(groep) van niet gevalideerde radartracks in de volledige database. Hiervoor zijn voldoende (doorgaans enkele honderden) gevalideerde tracks nodig. Een voorbeeld hiervan is de studie van Bureau Waardenburg voor het bepalen van tracks van weidevogels, in het bijzonder grutto (Verbeek (2022)). In hoofdstuk 5 gaan we wat dieper in op die mogelijkheid.

De onderstaande figuur 4.61 toont een beeld van vliegbewegingen van 'Flock' (groepen vogels) in de verschillende hoogteklassen in de periode januari en februari 2023 tussen 18u en 21u (= momenten met vaak regelmatige avondtrek van lokale vogels). De figuur 4.62 geeft dan weer een beeld van vliegbewegingen van 'medium birds' (= vaak grote meeuwen en watervogels) op rotorhoogte van windturbines (H2, rode tracks) in de periode januari en februari 2023 tussen 18u en 21u als er ook vaak regelmatige avondtrek is van lokale vogels. Op deze figuren is te zien dat er in grote delen van het focusgebied veel lokale vliegbewegingen zijn. Maar de detectiecapaciteit is niet overal goed (zie eerdere hoofdstukken) waardoor ze een onvolledig beeld geven, ook op rotorhoogte van windturbines in het gebied. Vanaf de radarlocatie in 2022-2023 was er in tegenstelling tot het onderzoek in 2021 (Everaert *et al.* (2022)) bij geen enkele windturbine in het focusgebied een goed radarzicht op die hoogte. Toch worden hieronder nog enkele voorbeelden weergegeven van opvallende vliegbewegingen op basis van de volledige database.

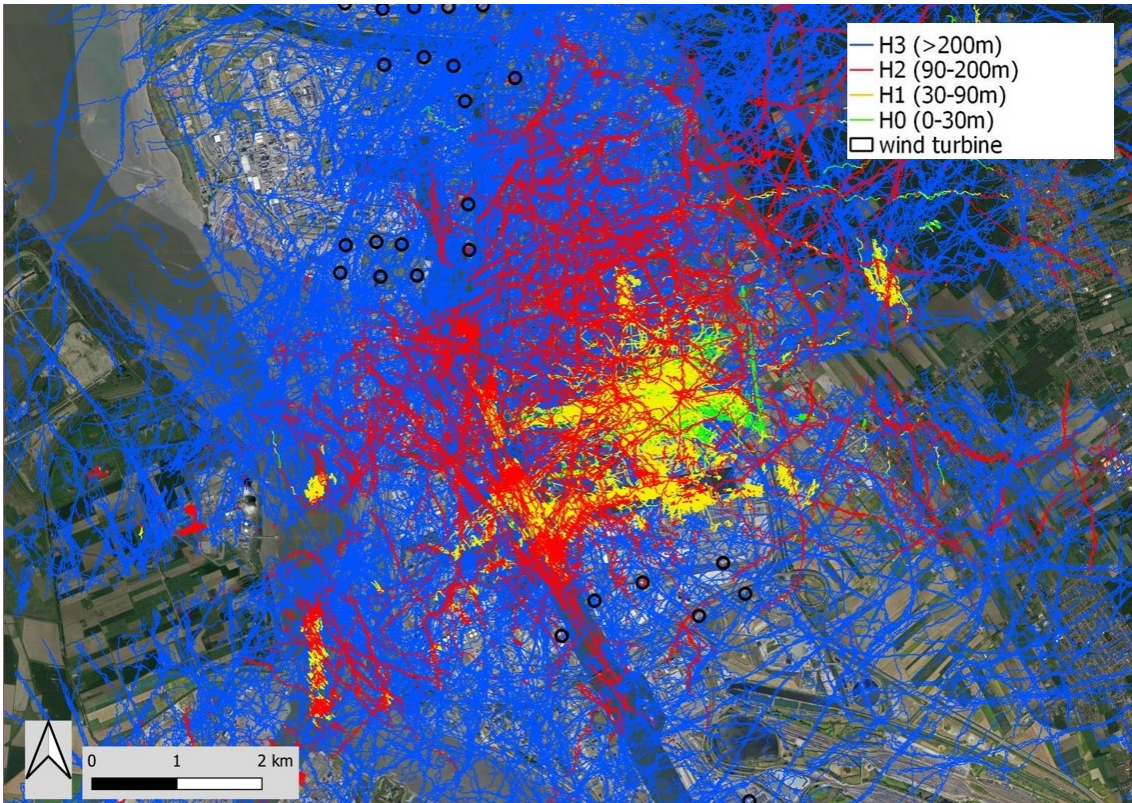
Als we meer in detail gaan qua momentopname, zien we beter bepaalde (lokale) trekpatronen van o.a. watervogels in het gebied. Zo toont de figuur 4.63 een selectie van groepen vogels (radartrack classificatie 'Flock') in de avond tijdens de periode 19 tot 25 januari 2023. Een groot deel van deze tracks betreffen zeker watervogels, houtduiven en kauwen.

Nog meer in detail qua momentopname is de figuur 4.64 met een beeld van de selectie van groepen vogels (radar classificatie 'Flock') in de avond op 19 januari. Een groot deel van deze tracks betreffen zeker watervogels en houtduiven.

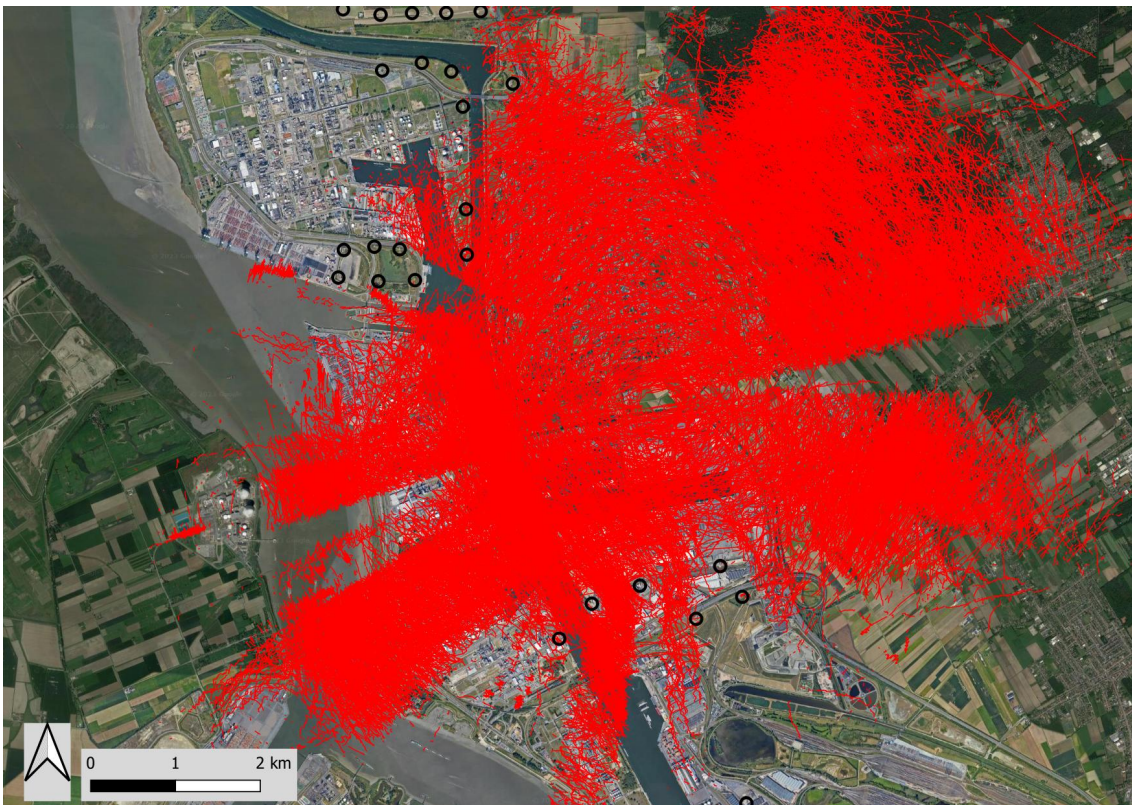
Een voorbeeld van najaarstrek is zichtbaar in figuur 4.65. Het betreft een selectie van vliegbewegingen van groepen vogels (radarclassificatie 'Flock') in de vroege ochtend op 19 oktober 2022. Het overgrote deel van deze tracks betreft kleine tot grote groepen van in zuidwestelijke richting doortrekkende lijsters (vooral koperwiek), zoals tijdens de validaties is vastgesteld.

Een bijzondere seizoenstrek werd onverwachts vastgesteld in de zomer. Figuur 4.66 toont daarvan een beeld, met een selectie van individuele kleine vogels (radar classificatie 'small bird') in de avond en nacht (na invallen van de duisternis) op 8 augustus 2022. Het overgrote deel van deze tracks betrof wellicht vooral kleine zangvogels (bv. rietvogels) die al vrij vroeg op het jaar in zuidwestelijke richting trokken. Tijdens de validaties zijn enkele daarvan waargenomen als 'kleine zangvogel'. Een groot deel van deze vogels werd toen ook als 'insects' geklassificeerd door de radar, terwijl dit dus kleine zangvogels waren (zie ook eerdere hoofdstukken), een voorbeeld hiervan is weergegeven in de figuur 4.67.



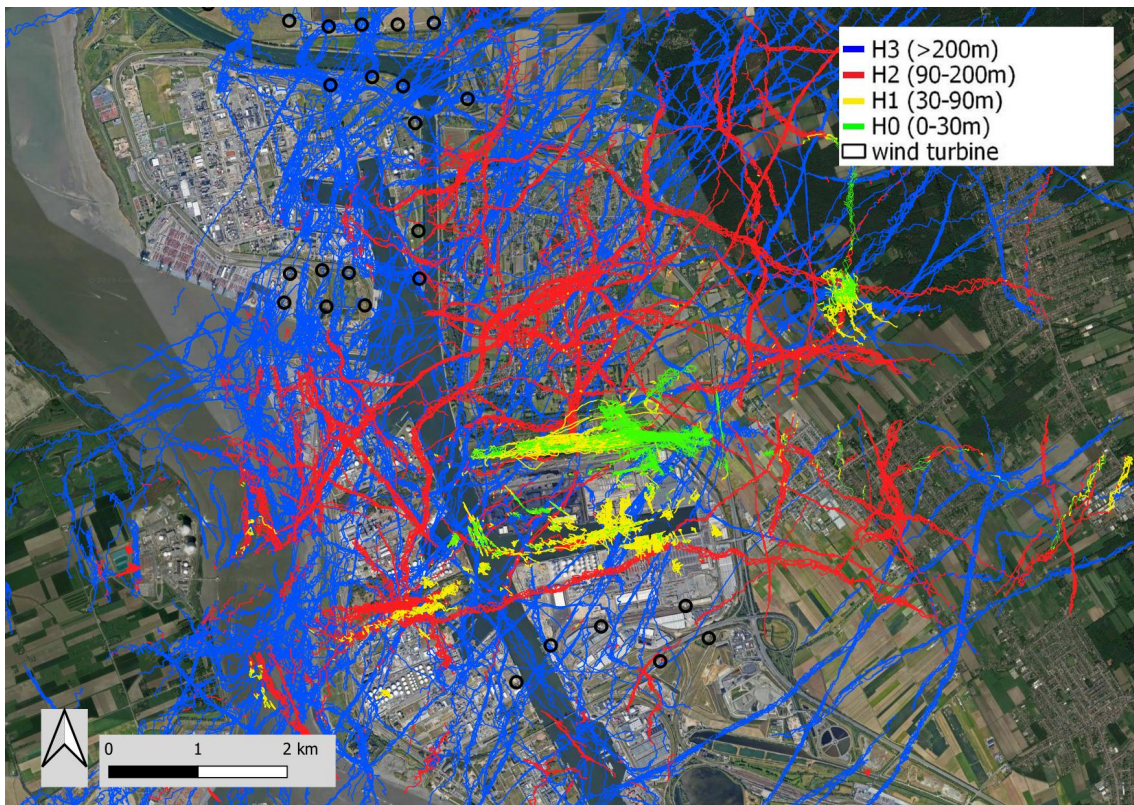


Figuur 4.61: Weergave van alle 'Flock' tracks (vaak groepjes van meeuwen en watervogels) in januari en februari 2023 in de avondperiode tussen 18u en 21u.



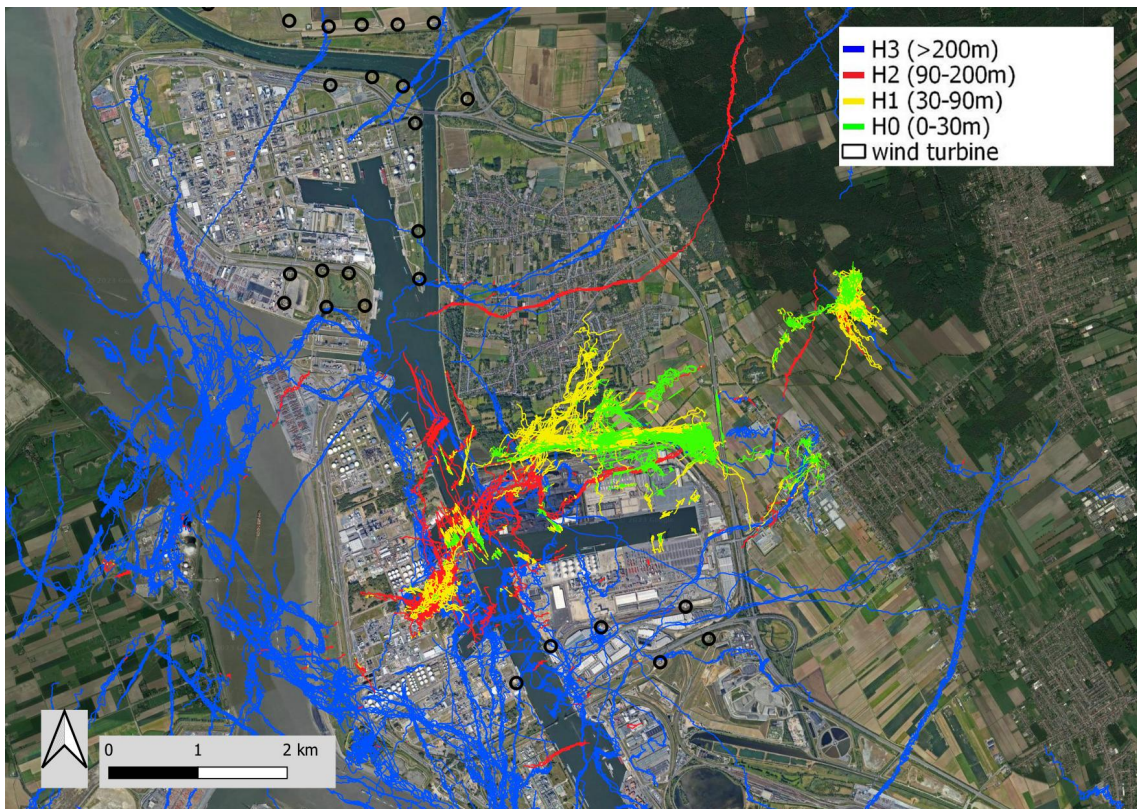
Figuur 4.62: Weergave van alle 'medium bird' tracks (vaak individuele meeuwen en watervogels) in februari 2023 in de avondperiode tussen 18u en 21u.



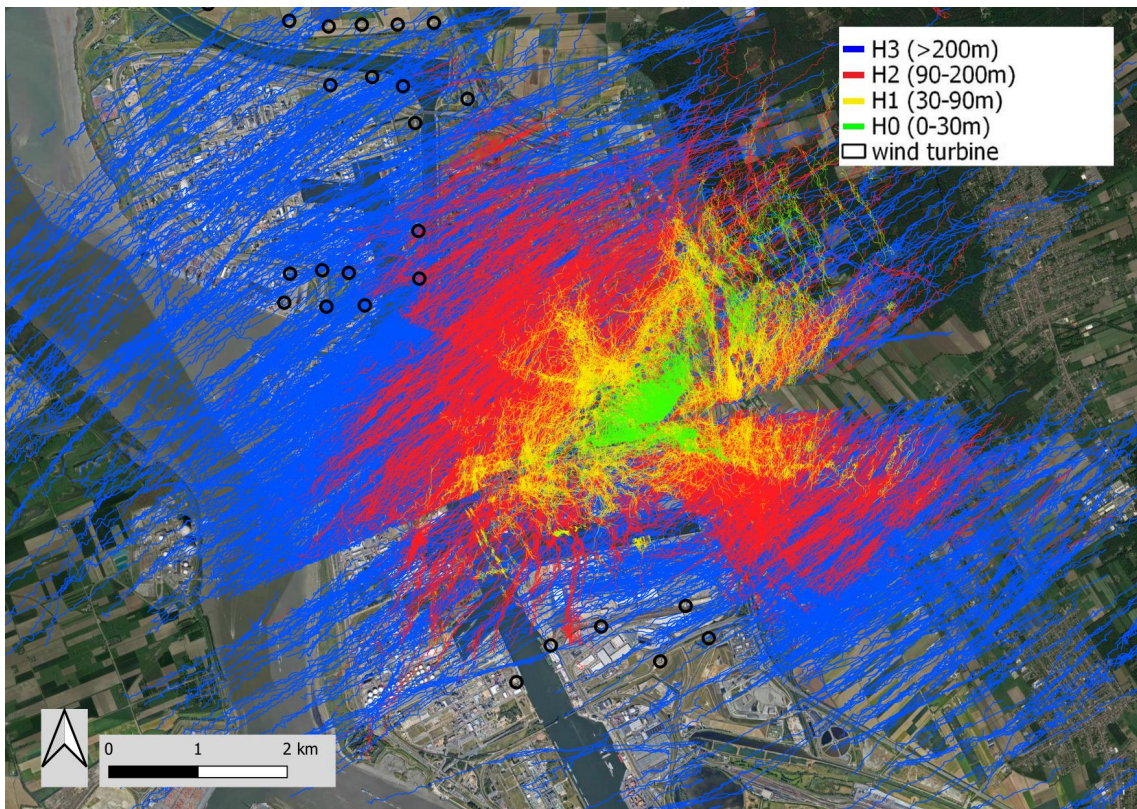


Figuur 4.63: Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks van 19 tot 25 januari 2023 met minimumlengte 100 m, in de avondschemering en na het invallen van de duisternis tussen 17u30 en 20u, waarvan een groot deel watervogels, kauwen en houtduiven.



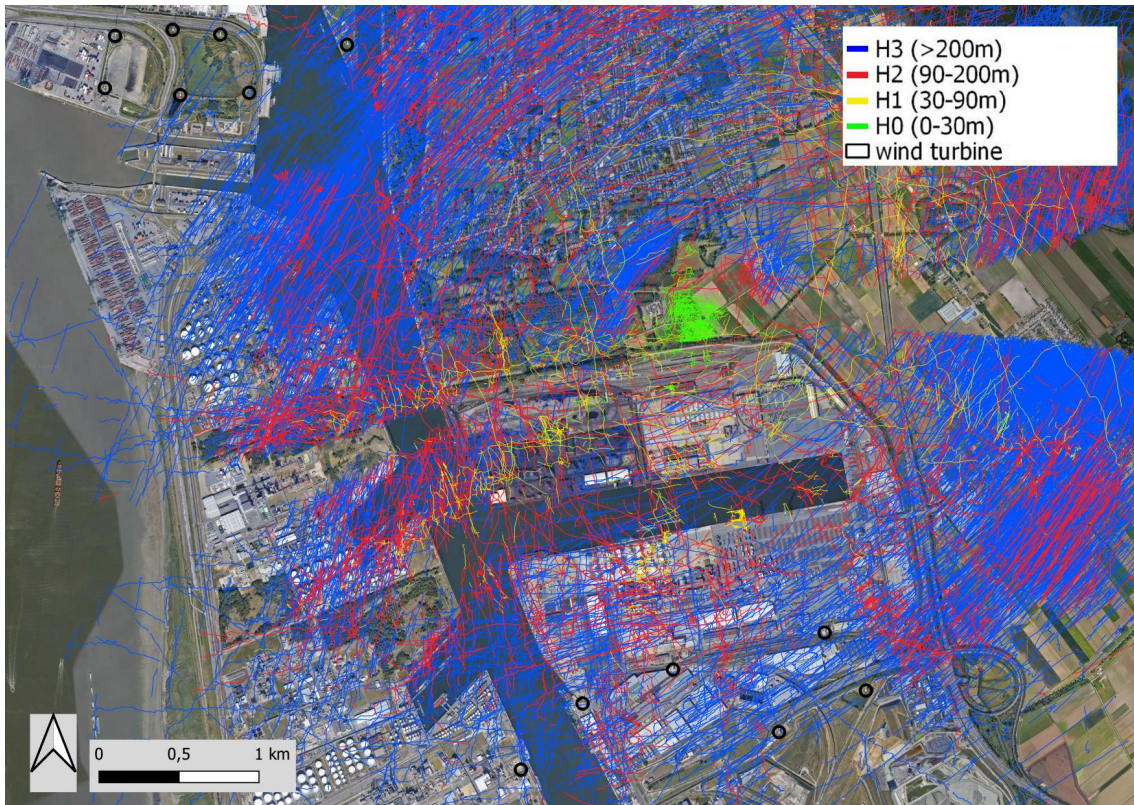


Figuur 4.64: Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks op 19 januari 2023 met minimumlengte 100 m, in de avondschemering en na het invallen van de duisternis tussen 17u en 20u, waarvan een groot deel watervogels en houtduiven.

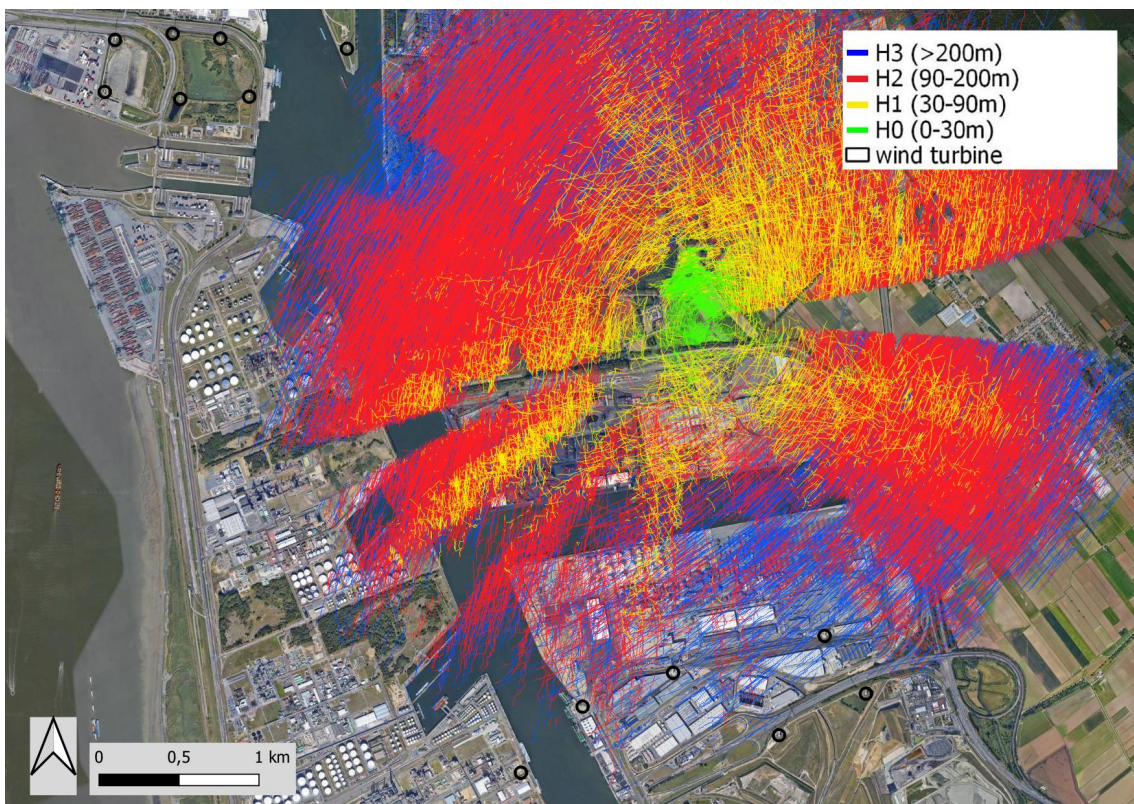


Figuur 4.65: Weergave van alle 'Flock' (groepen vogels) tracks op 19 oktober 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de vroege ochtend tussen 8u en 9u, waarvan een groot deel lijsters (vooral koperwiek).





Figuur 4.66: Weergave van alle 'small bird' radartracks op 8 augustus 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de late avond en nacht tussen 22u30 en 23u30, wellicht vrijwel allemaal kleine zangvogels.



Figuur 4.67: Weergave van alle 'Insects' radartracks op 8 augustus 2022 met minimumlengte 100 m, tijdens de late avond en nacht tussen 22u30 en 23u30, wellicht vrijwel allemaal kleine zangvogels.



## 5 TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Het onderzoek van 2021 gaf aanleiding tot nieuwe onderzoeksvragen (Everaert *et al.* (2022)). Een aantal daarvan zijn bij het onderzoek in 2022-2023 (tot begin 2023) beantwoord. Nu we meer weten over de detectiecapaciteit van de radar op verschillende hoogtes en afstanden en een gevalideerde dataset hebben, trachten we verder in 2023-2024 volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- In welke mate vertonen vogels uitwijkgedrag rond de windturbines?
- Is het gedrag van vogels rond windturbines gerelateerd aan de werking van de windturbine?
- Is het gedrag van vogels rond windturbines gerelateerd aan omgevingsfactoren zoals temperatuur, windsnelheid, uur van de dag,...

In dit hoofdstuk geven we een beschrijving van de geplande statistische proefopzet en de verwachte technische uitdagingen. Tot slot is ook het plan beschreven om de mogelijkheden van Artificiële Intelligentie (A.I.) te verkennen voor een betere voorspelling van de automatische classificatie van de radartracks.

### 5.1 STATISTISCHE PROEFOPZET

Deze sectie beschrijft een eerste statistische proefopzet die getest zal worden op de data van januari 2021 tot februari 2022. Gedurende deze periode stond de radar steeds op dezelfde locatie in de Ettenhovense polder. Voor deze periode werden bovendien reeds gevalideerde data geanalyseerd. Hieruit bleek dat de zichtbaarheid van de radar voor de CDN cluster van windturbines (telcirkel 2, net ten zuiden van De Kuifeend) vrij goed tot goed was en dat de betrouwbaarheid voor medium/grote vogels en groepen vogels goed was.

Sets van drie proefvlakken zullen rond windturbines geplaatst worden. Het middelste proefvlak in de set zal steeds op de windturbine geplaatst zijn en quasi evenwijdig aan de wieken. De andere twee proefvlakken liggen parallel aan het middelste voor en achter de windturbine. Voor iedere set van proefvlakken is er een set van drie controlevlakken die dicht bij de proefvlakken liggen maar waar verwacht wordt dat het vliegpatroon niet beïnvloed wordt door één van de windturbines. Figuur 5.1 toont de CDN cluster van windturbines en de locatie van de proef- en controlevlakken die gekozen werden bij benadering. Als eerste test concentreren we ons op:

- Proefvlakken op windturbines CDN-03 en CDN-05, in het blauw in figuur 5.1.
- Controlevlakken ten oosten of westen van de proefvlakken, in het geel in figuur 5.1.
- Proefvlakken die oost-west geïoriënteerd zijn. Hierdoor zullen ook enkel tijdstippen wanneer de wieken van de windturbines ongeveer oost-west geïoriënteerd zijn bekeken worden.
- Proefvlakken die een breedte hebben van 2\*rotordiameter. Er is geen beperking op de afmeting van het proefvlak in de hoogte.
- Proefvlakken uit eenzelfde set van 3 hebben een onderlinge afstand van 200 m ( $d$  in figuur 5.2).
- Tracks met radar classificatie 'Medium bird' (bv. vooral veel individuele grote meeuwen, maar ook soms individuele ganzen tot kleine groepjes eenden) aangezien deze de hoogste betrouwbaarheid bleken te hebben.

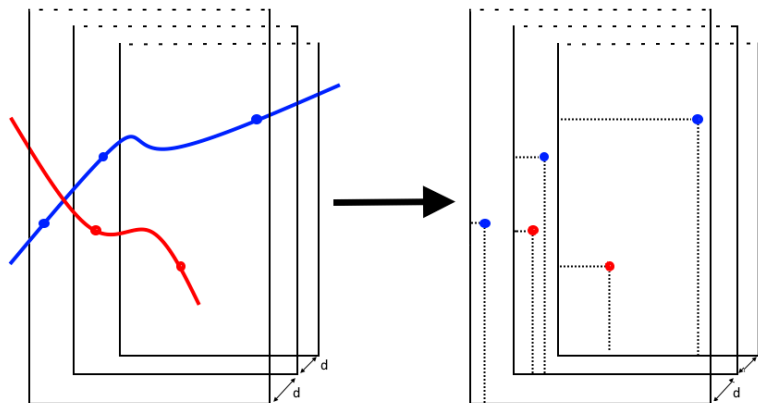
Alle tracks die door minstens één van de vlakken gaan zullen geselecteerd worden. Indien er onvoldoende tracks voldoen aan de selectie en de resulterende analyse dataset te klein is, kunnen één of meerdere van deze beperkingen opgeheven worden.





Figuur 5.1: Bovenaanzicht van de proef- en controlevlakken bij cluster CDN

Op basis van alle tracks die minstens één van de vlakken doorkruisen, wordt er een nieuwe, tweede analyse dataset gemaakt waar ieder record een punt is waar een track een proef- of controlevlak doorkruist. Figuur 5.2 geeft dit weer. De figuur toont twee verschillende tracks. De blauwe doorkruist ieder van de vlakken, de rode doorkruist enkel de twee achterste vlakken. Op deze manier zijn er vijf punten in de puntendatabank; één voor ieder punt waar een track en een vlak kruisen.



Figuur 5.2: Grafische weergave de tranformatie van een databank met tracks naar een analysedatabank met punten.

Allereerst kunnen we een flux (in aantal vogels per dag/uur) berekenen op de verschillende locaties. Kleyheeg-Hartman & Potiek (2020) kan een inspiratie zijn voor de berekening van de flux op basis van radardata.

We kunnen de flux (aantal tracks per uur) en het spatiale patroon op ieder van de controle- en proefvlakken proberen te verklaren aan de hand van omgevingsfactoren. We zullen analyses testen die rechtstreeks met de tracks werken zoals Hooten *et al.* (2016), Hooten *et al.* (2017) en McClintock & Michelot (2018). Deze





- Op basis van de vliegbewegingen door de proefvlakken, is er een duidelijk uitwijkgedrag zichtbaar van vogels die op rotorhoogte vliegen (significant verschil in vliegrichting, vlieghoogte en/of aantal tussen centraal vlak aan de turbine en de vlakken erlangs).
- Als het warm is (>20°C) vliegen vogels hoger (+ verschil maken in hoogteklassen?)
- Als er hoge vochtigheid is vliegen vogels lager (+ verschil maken in hoogteklassen?)
- Als het warm is (>20°C) met lage vochtigheid, vliegen vogels hoger (+ verschil maken in hoogteklassen?)
- Als de windsnelheid hoog is (>4 Beaufort), vliegen vogels lager (+ verschil maken in hoogteklassen?)
- Als de windsnelheid laag is (<4 Beaufort), vliegen vogels hoger (+ verschil maken in hoogteklassen?)
- Er is een relatie tussen de vlieghoogte en de windsterkte.
- Er is een relatie tussen de vlieghoogte (opgedeeld in 4 hoogteklassen H0-H3) en de windsterkte.
- 's Morgens (1u voor tot 2 u na zonsopgang) en/of 's avonds (1u voor tot 2u na zonsondergang) in de winter (maanden november tot februari) is de flux in de proefvlakken en controlevlakken meer dan 's middags (periode van 3u rond het middaguur).
- 's Morgens (1u voor tot 2 u na zonsopgang) en/of 's avonds (1u voor tot 2u na zonsondergang) in de zomer (maanden juli en augustus) november tot februari) is de flux in de proefvlakken en controlevlakken meer dan 's middags (periode van 3u rond het middaguur).
- Er is een verschil in flux tussen de verschillende maanden in het jaar, en idem gegroepeerd per seizoen.

### 5.1.1 Uitbreiding van de analyse

Het is moeilijk om te voorspellen hoeveel data we zullen hebben uit de beperkte, eerste analyse rond de twee windturbines die beschreven staat in sectie 5.1. Daarnaast is het ook niet mogelijk om te voorspellen of alle effecten die beschreven worden in de hypothesen in sectie 5.1 voldoende sterk zijn om gedetecteerd te kunnen worden. De statistische proefopzet zal hierdoor mogelijk aangepast worden.

Na de eerste analyses en resultaten, is het onze ambitie om de gekozen analysemethode uit te breiden naar proefvlakken op meerdere windturbines. Bovendien kunnen de vlakken mee draaien met de wind en de windturbines zodat we ons niet hoeven te beperken tot tijdstippen wanneer de wieken ongeveer oost-west gericht zijn, zoals de proefvlakken in sectie 5.1. Het is uiteraard wel belangrijk dat er enkel proef- en controlevlakken geplaatst worden op locaties waar de zichtbaarheid van de radar voldoende is. De analyse zal wellicht andere windturbines belichten vanaf maart 2022, wanneer de radar verplaatst werd. Het radarzicht was toen echter (vrijwel zeker) aan geen enkele bestaande windturbine voldoende goed om betrouwbare analyses op te doen. Wellicht is het beter om andere windturbinezones te onderzoeken als de radar opnieuw verplaatst is naar een locatie waar het zicht beter is, zoals gepland in de loop van 2023 voor de windturbine cluster aan de noordrand van de Zandvlietsluis.

De analyse kan ook uitgebreid worden naar verschillende soorten vogels; kleine (small bird) middelgrote + grote vogels (klasse "medium bird" en eventueel ook incl. "large bird"), en groepen vogels ("flocks"). Het kan interessant zijn om het verschil in gedrag van de verschillende soorten vogels te onderzoeken. Bovengenoemde hypothesen kunnen hiervoor herhaald worden met onderscheid tussen de verschillende vogel-classificaties.

## 5.2 TECHNISCHE UITDAGINGEN

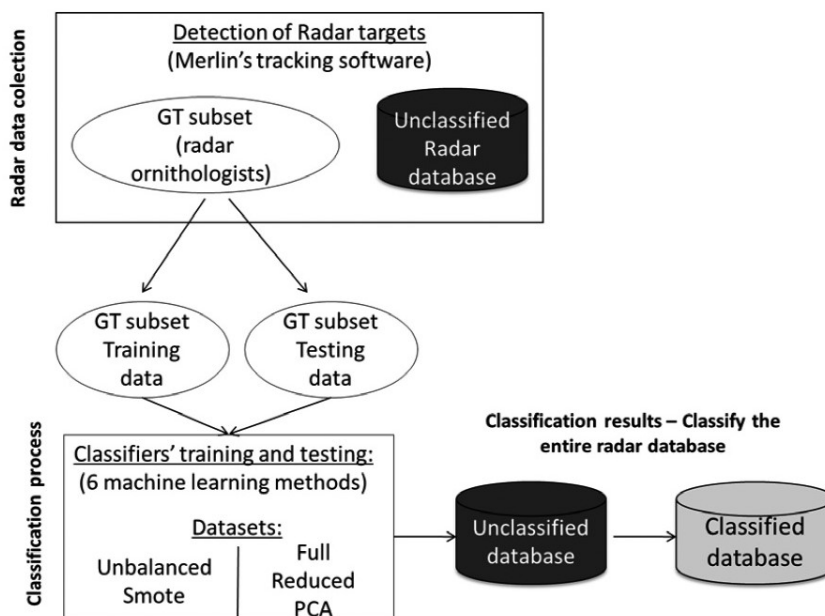
Ten eerste worden momenteel nog niet alle meteo- en werkingsgegevens voor iedere windturbine standaard overgedragen aan het INBO, samen met de radardata. Deze data zit momenteel dan ook nog niet volledig in de analysedatabase. Dit zou wel nodig zijn om de hypothesen te testen die een link zoeken tussen omgevingsfactoren en het gedrag van vogels (rond de windturbines).

Er zal een spatiale query geschreven moeten worden die de tracks kan filteren die door één van de proef- of controlevlakken gaan. Vervolgens zullen de geselecteerde tracks gereduceerd worden tot punten waar de tracks proef- of controlevlakken kruisen (Figuur 5.2). De query zal zo flexibel mogelijk geschreven worden zodat de locatie en grootte van de vlakken makkelijk kan aangepast worden indien nodig. Het schrijven van zulke query is niet vanzelfsprekend en zal de nodige tijd vergen.

## 5.3 SOORT(GROEP)HERKENNING MET HULP VAN ARTIFICIËLE INTELLIGENTIE

De toepassingen op basis van Artificiële Intelligentie (A.I.) zitten in de lift. Met behulp van deze techniek kan bijvoorbeeld een (betere) voorspelling gemaakt worden van de soort(groep). Op basis van foto's van vogels en andere dieren is de techniek al goed gevorderd (bv. automatische 'NIA' beeldherkenning in waarnemingen.be). Maar ook niet gevalideerde radartracks in een grote database, zouden met deze techniek een (betere) bepaling kunnen krijgen van de soort of soortgroep. Hiervoor is het belangrijk om in het systeem voldoende op soort of soortgroep gevalideerde radartracks te hebben (Figuur 5.4. Tijdens de CWW2022 conferentie presenteerde Waardenburg Ecology hierover bijvoorbeeld hun experiment om met gevalideerde radartracks van grutto (ROBIN 3D Max) een relatief betrouwbare voorspelling te maken van grutto vliegbewegingen binnen de niet gevalideerde database tracks (Verbeek (2022)).

In 2023-2024 kan een verkenning gebeuren van de mogelijkheden met de database in de Antwerpse haven.



Figuur 5.4: Mogelijkheid om met gevalideerde radartracks A.I. de soorten(groep) in de volledige radardatabase automatisch te classificeren (Rosa et al. 2016).

## Referenties

- Baddeley A., Rubak E. & Turner R. (2015). Spatial point patterns: methodology and applications with R. CRC press. <https://doi.org/10.1201/b19708>.
- Diggle P.J. (2013). Statistical analysis of spatial and spatio-temporal point patterns. Chapman; Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b15326>.
- Everaert J., Lodder M. & Lieburg T. van (2016). Eindrapport van de meetcampagne met een ROBIN 3D flex vogelradar voor Vleemo NV te Antwerpen, België. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO); Robin Radar Systems BV.
- 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. <https://doi.org/10.21436/inbor.73800966>.
- Hooten M.B., Buderman F.E., Brost B.M., Hanks E.M. & Ivan J.S. (2016). Hierarchical animal movement models for population-level inference. *Environmetrics* 27 (6): 322–333. <https://doi.org/10.1002/env.2402>.
- Hooten M.B., Johnson D.S., McClintock B.T. & Morales J.M. (2017). Animal movement: statistical models for telemetry data. CRC press.
- Kleyheeg-Hartman J.C. & Potiek A. (2020). Seizoenstrek van vogels over de buitencontour van de Tweede Maasvlakte. Radaronderzoek in najaar 2019. Nr. 20-059. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- McClintock B.T. & Michelot T. (2018). momentuHMM: R package for generalized hidden Markov models of animal movement. *Methods in Ecology and Evolution* 9 (6): 1518–1530.
- Verbeek R. (2022). Studying the flight behaviour of black-tailed godwits – visual observations versus the use of a 3D bird radar. Waardenburg Ecology, presentation at the conference on wind energy; wildlife impacts (CWW 2022), The Netherlands, 4-8 April 2022.