

Verspreiding van met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten in Nederland

Juan Gallego-Zamorano, Jurrian van Irsel & Roy Slaterus



Colofon

© Sovon Vogelonderzoek Nederland 2025

Citeren als: Gallego-Zamorano J., van Irsel J. & Slaterus R. 2025. Verspreiding van met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten in Nederland. Sovon-rapport 2025/105. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Foto's: Roy Slaterus

ISSN-nr: 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

E-mail: info@sovon.nl

Website: www.sovon.nl

Type informatie	Omschrijving/status	Datum
Versie	concept	4-11-25
Inhoudelijke toets	Jacintha van Dijk	7-11-25
Vrijgave na conceptversie	Jacintha van Dijk	11-11-25
Vrijgave na definitieve versie	Jacintha van Dijk	9-12-25
Versie 1.0	definitief	9-12-25

Dit rapport is samengesteld in opdracht van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Inhoud

1 Inleiding	4
2 Materiaal en methode	5
2.1 Vogeltellingen	5
2.2 Soortselectie	5
2.3 Gegevensbronnen	6
2.4 Omgevingsvariabelen	6
2.5 Modelling	7
3 Resultaten	9
3.1 Watervogels in de winter	9
3.2 Verspreiding van alle soorten tezamen op 1x1 km	10
3.3 Verspreiding van alle soorten tezamen per regio	11
3.4 Verspreiding per soortgroep	12
3.4.1 Zwanen	12
3.4.2 Ganzen	13
3.4.3 Eenden	14
3.4.4 Steltlopers	15
3.4.5 Meeuwen en sterns	16
3.4.6 Overige watervogels	17
3.4.7 Roofvogels en uilen	18
3.4.8 Kraaien	19
4 Conclusie	20
Literatuur	21
Bijlage 1 Evaluatie van de prestaties van het model	22

1 Inleiding

Vogelgriepvirussen komen voor in wilde vogels, maar niet in alle vogelsoorten in dezelfde mate. Ze gaan vooral rond onder watervogels en met name op plekken waar die in hoge dichtheden voorkomen. Ook worden ze wel aangetroffen bij roofdieren en aaseters. Watervogels, kraaiachtigen en roofvogels vormen dan ook de belangrijkste groepen vogels die geassocieerd worden met vogelgriep.

Maar waar komen deze vogels het meeste voor in Nederland? En hoe verandert hun verspreidingsbeeld gedurende het jaar? Om deze vragen te beantwoorden hebben we onze kennis over het voorkomen van vogels ingezet. Door beschikbare vogeldata te analyseren in combinatie met informatie over een aantal omgevingsvariabelen hebben we verspreidingskaarten per maand kunnen maken van met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten. Deze presenteren we in dit rapport. Voor een snel totaalbeeld verwijzen we naar paragrafen 3.1-3.3 en voor meer achtergrondinformatie per soortgroep naar paragraaf 3.4. Maar eerst leggen we in hoofdstuk 2 uit hoe de kaarten tot stand zijn gekomen.



Smienten op de Ouderkerkerplas.

2 Materiaal en methode

2.1 Vogeltellingen

Sovon Vogelonderzoek Nederland voorziet de maatschappij van kennis over aantallen, verspreiding en ecologie van vogelpopulaties in Nederland. Dit kunnen we dankzij de inzet van honderden vrijwillige vogeltellers die op regelmatige basis systematische vogeltellingen uitvoeren. Voor het maken van landelijke of regionale verspreidingskaarten van de verschillende vogelsoorten zijn de periodieke atlasprojecten cruciaal. Het organiseren, uitvoeren en analyseren van landelijk dekkende tellingen, zoals in de atlasprojecten gebeurt, is een omvangrijke klus. Maar dit resulteert wel in een stevig fundament voor goede schattingen, ook als het gaat om studies waarbij een belangrijk deel van de resultaten berust op modellering. Zo steunt onze huidige kennis sterk op gegevens uit 2013-2015 uit de laatste Vogelatlas (Sovon 2018). Vanzelfsprekend neemt de onzekerheid in schattingen van aantallen toe naarmate de onderliggende data ouder worden. Om deze reden is het essentieel om dergelijke atlasprojecten ook in de toekomst te blijven uitvoeren.

2.2 Soortselectie

Bij de selectie van vogelsoorten voor deze studie hebben we ons gebaseerd op eerder opgedane kennis over de prevalentie van vogelgriep onder wilde vogels (zie bijv. Slaterus *et al.* 2022). In totaal hebben we 95 soorten, verdeeld over acht soortgroepen, geselecteerd die geassocieerd worden met vogelgriep (tabel 1). Schaarse en zeldzame soorten, en soorten die zich in Nederland hoofdzakelijk op zee vertonen, zijn buiten beschouwing gelaten. We hebben binnen deze selectie verder geen onderscheid gemaakt in hoe vaak vogelgriep in deze soorten wordt vastgesteld. Over het algemeen worden zwanen, ganzen en eenden het vaakst met vogelgriep in verband gebracht, maar er kan sprake zijn van een aanzienlijke variatie. Er zijn bijvoorbeeld ook vogelgriepuitbraken bekend waarbij andere soortgroepen, zoals meeuwen en sterns, een hoofdrol speelden.

Tabel 1. Geselecteerde soorten en gehanteerde soortgroepen.

Soortgroep	Geselecteerde soorten
Zwanen	Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Wilde Zwaan
Ganzen	Brandgans, Dwerggans, Grauwe Gans, Grote Canadese Gans, Kleine Rietgans, Kolgans, Rotgans, Toendrarietgans
Eenden	Bergeend, Brilduiker, Eider, Grote Zaagbek, Krakeend, Kuifeend, Middelste Zaagbek, Nijlgans, Nonnetje, Pijlstaart, Slobeend, Smient, Tafeleend, Topper, Wilde Eend, Wintertaling, Zomertaling
Steltlopers	Bontbekplevier, Bonte Strandloper, Drieteenstrandloper, Goudplevier, Groenpootruiter, Grutto, Houtsnip, Kanoet, Kievit, Kleine Plevier, Kluut, Oeverloper, Regenwulp, Rosse Grutto, Scholekster, Steenloper, Tureluur, Watersnip, Witgat, Wulp, Zilverplevier, Zwarte Ruiter
Meeuwen en sterns	Drieteenmeeuw, Dwergmeeuw, Dwergstern, Grote Mantelmeeuw, Grote Stern, Kleine Mantelmeeuw, Kokmeeuw, Noordse Stern, Pontische Meeuw, Stormmeeuw, Visdief, Zilvermeeuw, Zwarte Stern, Zwartkopmeeuw
Overige watervogels	Aalscholver, Blauwe Reiger, Dodaars, Fuut, Georde Fuut, Grote Zilverreiger, Kleine Zilverreiger, Lepelaar, Meerkoet, Ooievaar, Purperreiger, Waterhoen, Waterral
Roofvogels en uilen	Blauwe Kiekendief, Bruine Kiekendief, Buizerd, Havik, Kerkuil, Oehoe, Ransuil, Ruigoetbuizerd, Slechtvalk, Sperwer, Torenvalk, Velduil, Zearend
Kraaien	Ekster, Kauw, Raaf, Roek, Zwarte Kraai

2.3 Gegevensbronnen

Voor het uitvoeren van deze studie hebben we gebruik gemaakt van recent verzamelde gegevens uit het Meetnet Watervogels, het Meetnet Broedvogels (met name voor kolonievogels) en het LiveAtlas-project. Ook is gebruik gemaakt van niet-gestandaardiseerde gegevens afkomstig van Waarneming.nl. Aangezien deze verschillende bronnen niet direct vergelijkbaar zijn, hebben we eerst zes stappen uitgevoerd voordat we met de modellering van start gingen:

1. Om de meest recente verspreiding en abundantie van de soorten vast te leggen, hebben we gegevens geselecteerd uit de periode 2017-2024.
2. Om de verschillende gegevensbronnen ruimtelijk te combineren, hebben we gebruik gemaakt van rastercellen van 1x1 km. Dit maakt het mogelijk om in een hoge resolutie verschillen tussen locaties zichtbaar te maken, maar tegelijkertijd verkleint dit de kans op 'overfitting' (namelijk het creëren van een model dat zo nauw aansluit bij de trainingsset, dat het geen correcte voorspellingen meer kan doen op basis van nieuwe gegevens).
3. Om voldoende gegevens voor de modellen te garanderen en tegelijkertijd de fenologie van de vogelsoorten vast te leggen, hebben we maanden als temporele resolutie gebruikt.
4. Wanneer er meerdere waarnemingen per rastercel, soort en maand beschikbaar waren, hebben we alleen het maximale aantal waargenomen individuen per 1x1 km behouden, in navolging van eerder onderzoek (Hertzog *et al.* 2021). Het gebruik van het maximale aantal vormt een goede benadering van de werkelijke vogelpopulatie. Het waarnemen van vogels is immers zelden volledig nauwkeurig en wordt beïnvloed door diverse factoren die lastig uit verschillende databronnen zijn af te leiden, zoals de weersomstandigheden op het moment van de telling (Guillera-Arroita 2017). Bovendien stelt het gebruik van het maximale aantal ons beter in staat om vogelrijke gebieden te identificeren waar de kans op blootstelling aan vogelgriepvirussen vermoedelijk het hoogst is.
5. Wanneer je een set gegevens sorteert en het verdeelt in gelijke delen zodat elk deel hetzelfde aantal waarden bevat, worden deze grenswaarden kwantielen genoemd. Om de invloed van extreme waarden ('outliers') te vermijden, hebben we de gegevens afgekapt tot de 99,99% kwantielwaarde.
6. Om er zeker van te zijn dat het ontbreken van gegevens per rastercel ook daadwerkelijk betekent dat die vogelsoorten niet zijn waargenomen, hebben we de afwezigheid van vogels alleen afgeleid uit monitoringsgegevens uit de meetnetten en uit volledige lijsten van het LiveAtlas-project. Gegevens van Waarneming.nl leenden zich hier niet voor, aangezien de waarnemingsinspanning onbekend is.

2.4 Omgevingsvariabelen

Diverse eerdere studies hebben laten zien dat het combineren van gegevensbronnen voordelen biedt voor het voorspellen van de verspreiding van soorten (Robinson *et al.* 2020, Hertzog *et al.* 2021, Zulian *et al.* 2021, Bianchini & Tozer 2023). Daarom hebben we voor onze modellen naast vogelgegevens gebruikgemaakt van gegevens uit 'citizen science' projecten die ruimtelijke en temporele informatie bevatten.

We hebben verschillende omgevingsvariabelen gebruikt, afkomstig uit bronnen zoals het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN), het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en Copernicus. Om de ruimtelijke variatie van het landschap vast te leggen en tegelijkertijd de multicollineariteit (het sterk met elkaar samenhangen van onafhankelijke

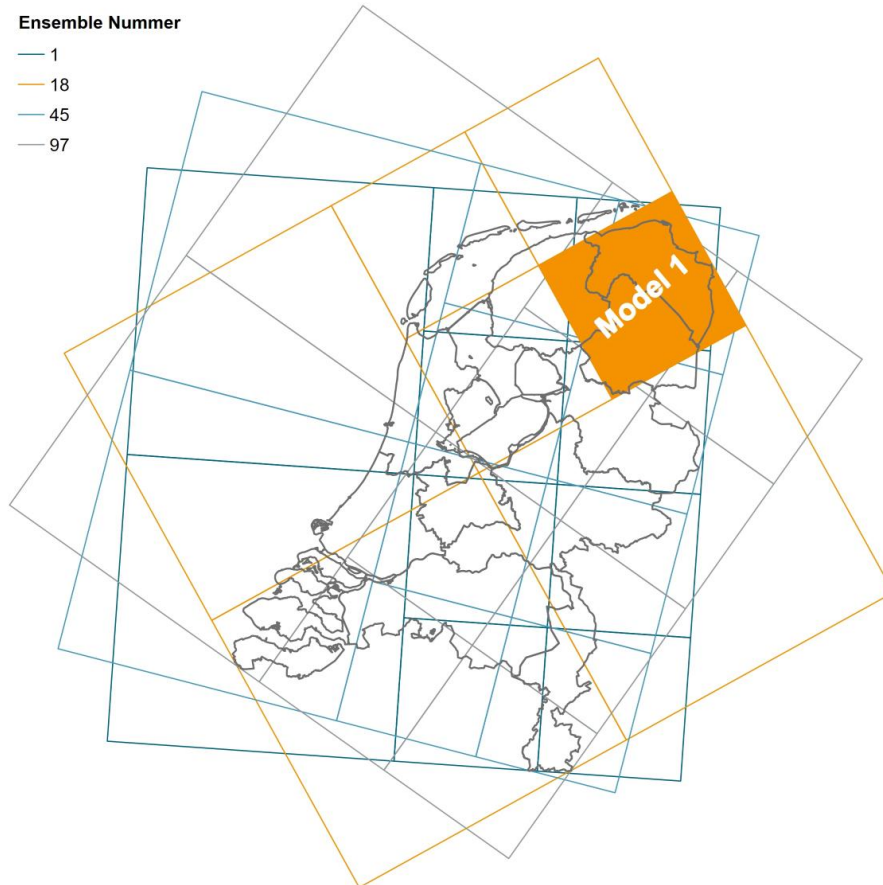
variabelen) te verminderen, hebben we een hoofdcomponentenanalyse (PCA) toegepast op verschillende thematische groepen van omgevingsvariabelen. Dit proces heeft interpreteerbare ruimtelijke lagen opgeleverd die de complexiteit van het Nederlandse landschap samenvatten. De volgende groepen variabelen zijn in de modellen gebruikt:

- Metriek van hoogte- en vegetatiestructuur (afkomstig van Lidar)
- Klimaat – enkele langetermijn-variabelen
- Bodem – belangrijkste bodemcategorieën
- Landbedekking - samenstelling van de landbedekking in de omgeving
- Hydrologie – soorten oppervlaktewater en chemische variabelen
- Stedelijk – intensiteit van landgebruik en aanwezigheid van infrastructuur
- Landbouw – soorten gewassen en landgebruik
- Semi-natuurlijk – vegetatietypes
- Landschapsvariabelen – indices voor openheid en productiviteit van vegetatie

2.5 Modelling

Vanwege uitdagingen van de ruimtelijk-temporele dataset die we hebben gecreëerd (bijv. ongelijke dekking in verschillende maanden en gebieden of ruimtelijke en temporele correlatie van de gegevens), hebben we gekozen voor een benadering die 'Adaptive Spatio-Temporal Exploratory Model' wordt genoemd (AdaSTEM) (Fink *et al.* 2010, 2013, 2020, Johnston *et al.* 2015, Gallego-Zamorano *et al.* 2024). AdaSTEM is een raamwerk dat is ontworpen om ruimtelijk-temporele patronen te analyseren met behulp van een verzameling van verschillende lokale regressiemodellen. De schattingen van de abundantie worden afgeleid door het gemiddelde te nemen van de outputs van kleinere (lokale) modellen. Dit proces houdt rekening met de variabiliteit tussen verschillende modellen en vermindert overfitting (Efron 2014), terwijl het de veranderende relaties tussen soorten en hun omgeving vastlegt (Fink *et al.* 2013, 2020, Johnston *et al.* 2015).

Voor elk lokaal model worden de gegevens gescheiden in temporele groepen (bijv. drie maanden) en wordt het onderzoeksgebied verdeeld met behulp van een ruimtelijk raster dat willekeurig is gepositioneerd en georiënteerd. Deze ruimtelijk-temporele subset van gegevens, bekend als een ensemble of 'stixel' (van spatio-temporal pixel), wordt gebruikt als input voor elk afzonderlijk regressiemodel. De stixels worden geconstrueerd met behulp van een QuadTree-algoritme, dat de gegevens opsplijst op basis van de observatiedichtheid; gebieden met een hogere gegevensdichtheid worden opgesplitst in fijnere rasters, wat resulteert in kleinere stixels, terwijl regio's met een lagere gegevensdichtheid grotere stixels hebben (figuur 1). Dit proces van het opsplitsen van de gegevens in stixels en het afzonderlijk modelleren ervan wordt meerdere keren herhaald, waardoor een groot aantal schattingen voor elk punt in de ruimte wordt gecreëerd. Schattingen voor specifieke locaties (elk raster van 1x1 km) worden vervolgens gemaakt door het gemiddelde te nemen van de resultaten van alle modellen die de locatie voor een bepaalde maand omvatten.



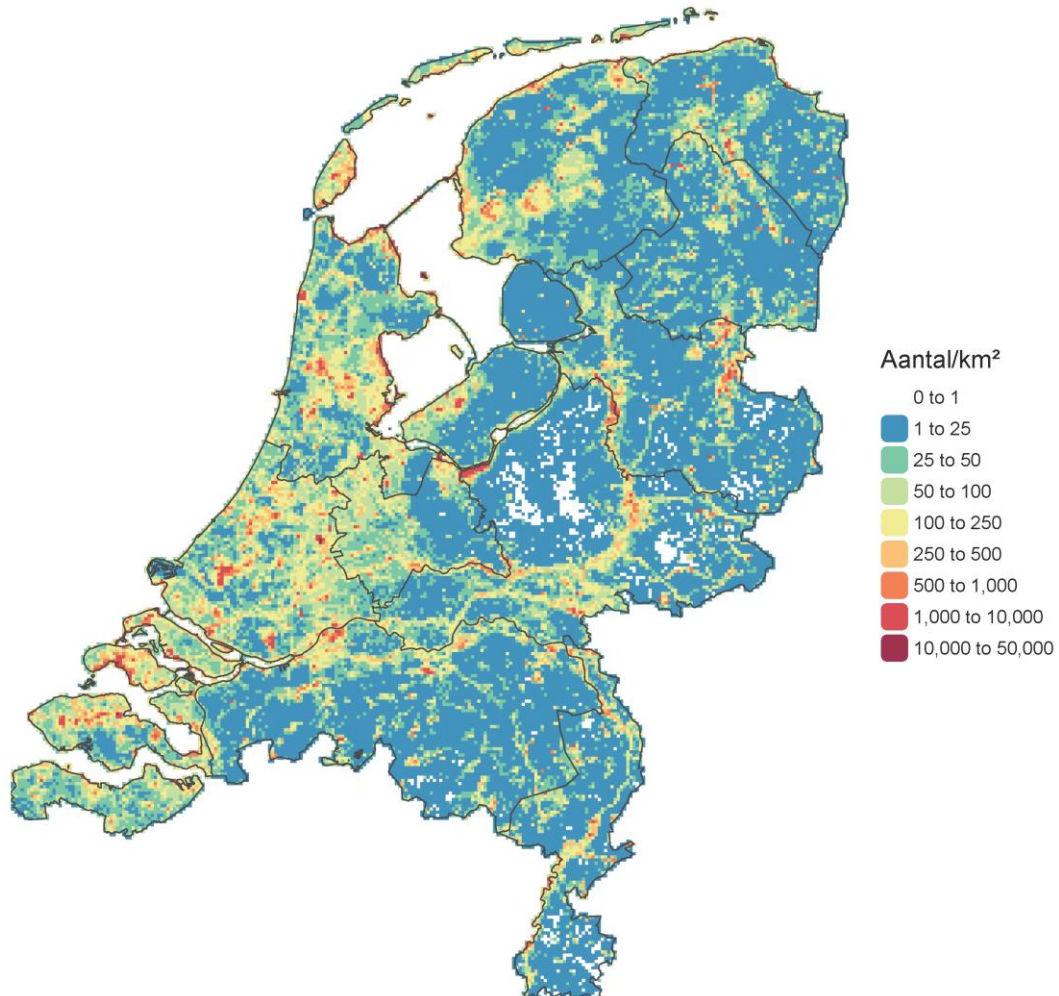
Figuur 1. Vier willekeurig gegenereerde sets van ruimtelijk-temporele subsets (ensembles). Ensembles zijn kleiner in regio's met veel gegevens en groter in regio's met weinig gegevens. In elk vierkant van elk ensemble wordt een lokaal model aangebracht. Als voorbeeld is één stixel met kleur gemarkeerd (en als voorbeeld Model 1 genoemd).

Het voert te ver om in dit rapport dieper in te gaan op de technische achtergronden van de modellering. Voor een evaluatie van de prestaties van het model verwijzen we naar bijlage 1.

3 Resultaten

3.1 Watervogels in de winter

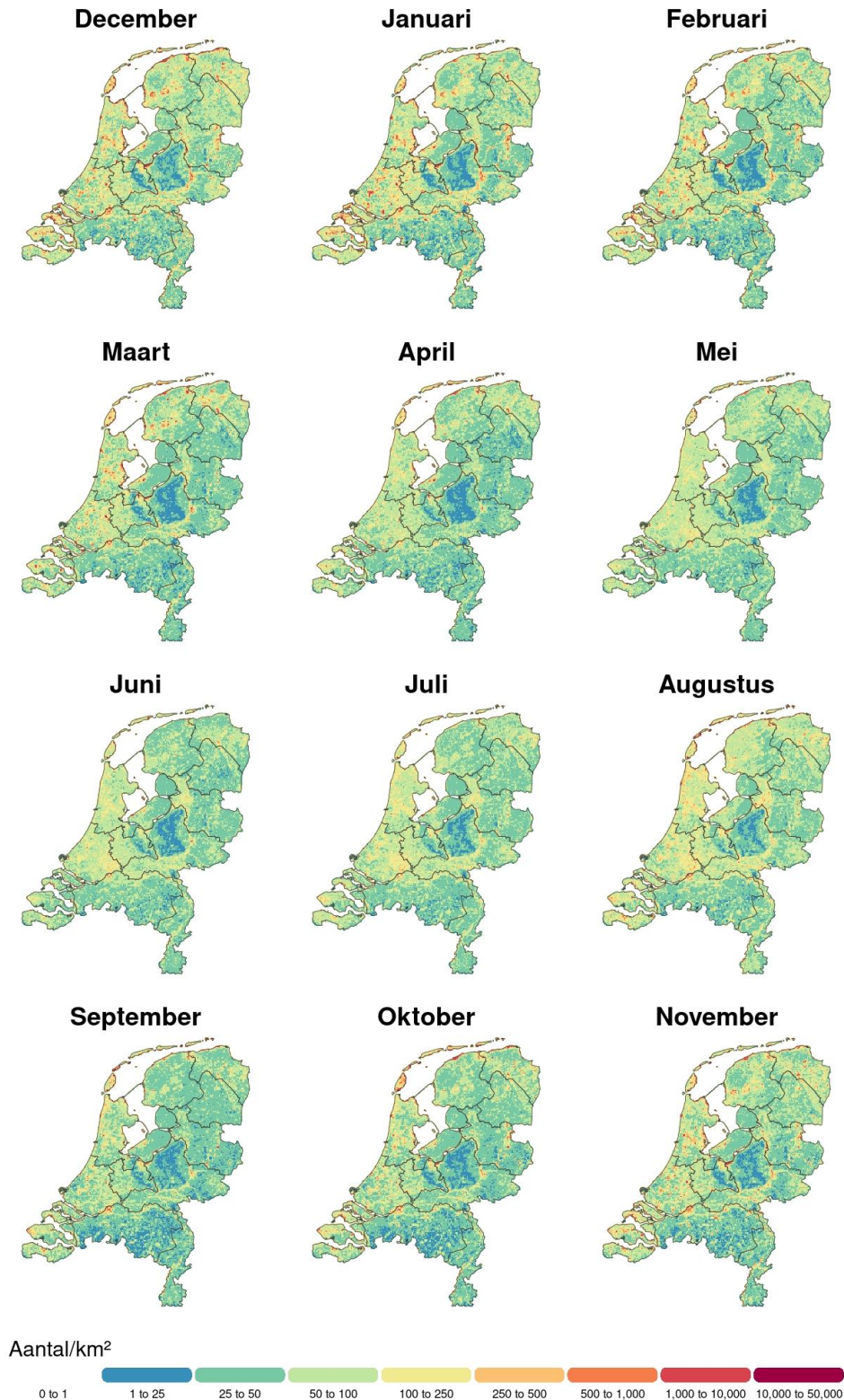
Anseriformes en Charadriiformes (hierna aangeduid als watervogels) vormen de belangrijkste groepen vogels die geassocieerd worden met vogelgriep. Hoewel er forse verschillen bestaan tussen de verschillende soorten, zijn de aantallen watervogels gemiddeld het grootst in de winter. Figuur 2 geeft weer waar zich in januari de hoogste dichtheden ophouden in Nederland.



Figuur 2. Verspreiding van watervogels in januari in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.2 Verspreiding van alle soorten tezamen op 1x1 km

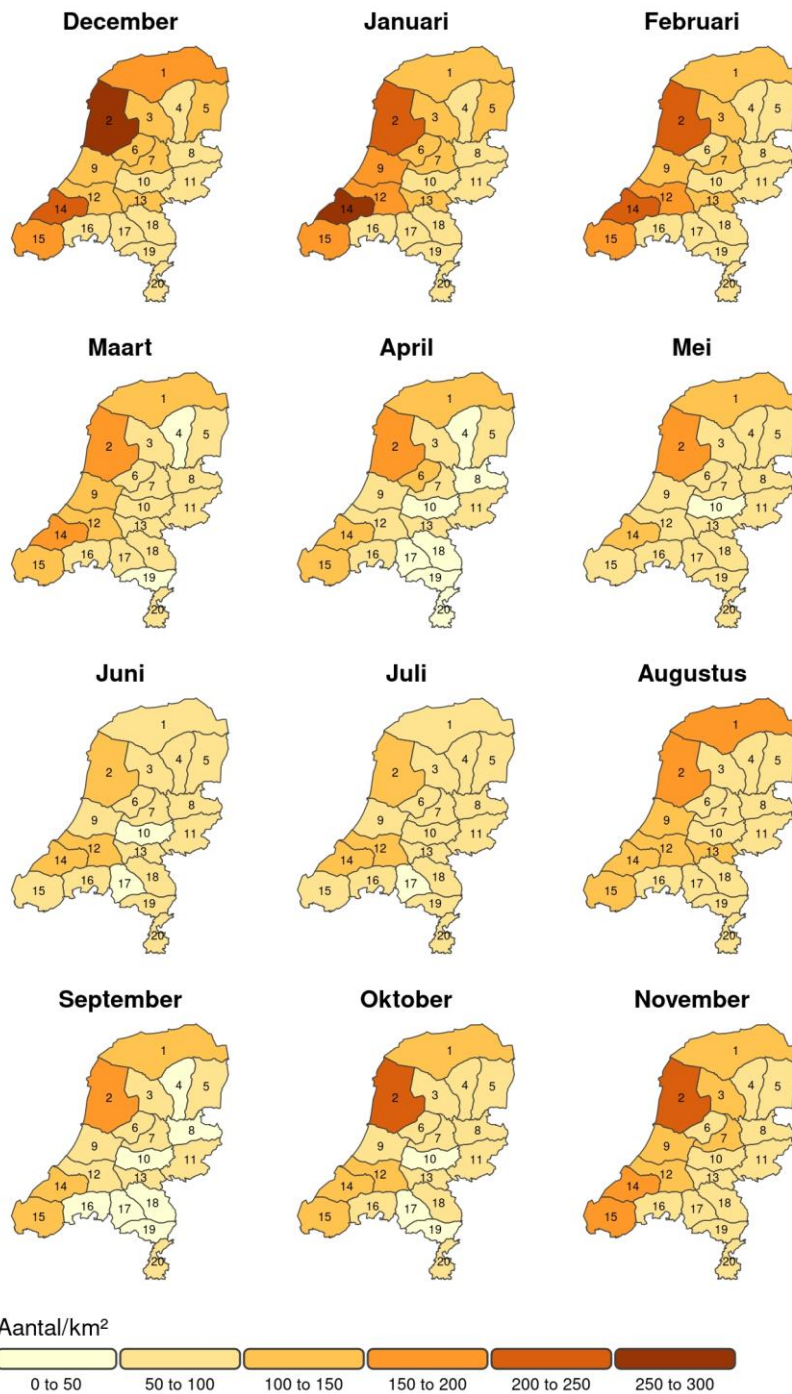
Figuur 3 laat zien waar zich de grootste aantallen van alle met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten (watervogels, roofvogels en kraaien) tezamen gedurende het jaar ophouden. Met name van oktober-maart zijn er in het noorden en westen, en lokaal meer in het binnenland, veel plekken met hoge dichtheden te vinden.



Figuur 3. Verspreiding van alle met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten tezamen in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.3 Verspreiding van alle soorten tezamen per regio

Figuur 4 toont dezelfde gegevens als figuur 3, maar dan uitgesplitst naar regio. Het betreft administratieve regio's die gebruikt worden bij het treffen van maatregelen tijdens uitbraken van dierziekten. Voor elk regio is voor elke maand een gemiddeld aantal berekend. Daarbij moet bedacht worden, dat er sprake kan zijn van een aanzienlijke spreiding rond dat gemiddelde; binnen een regio kunnen locaties liggen met (veel) hogere dichtheden zoals figuur 3 laat zien.

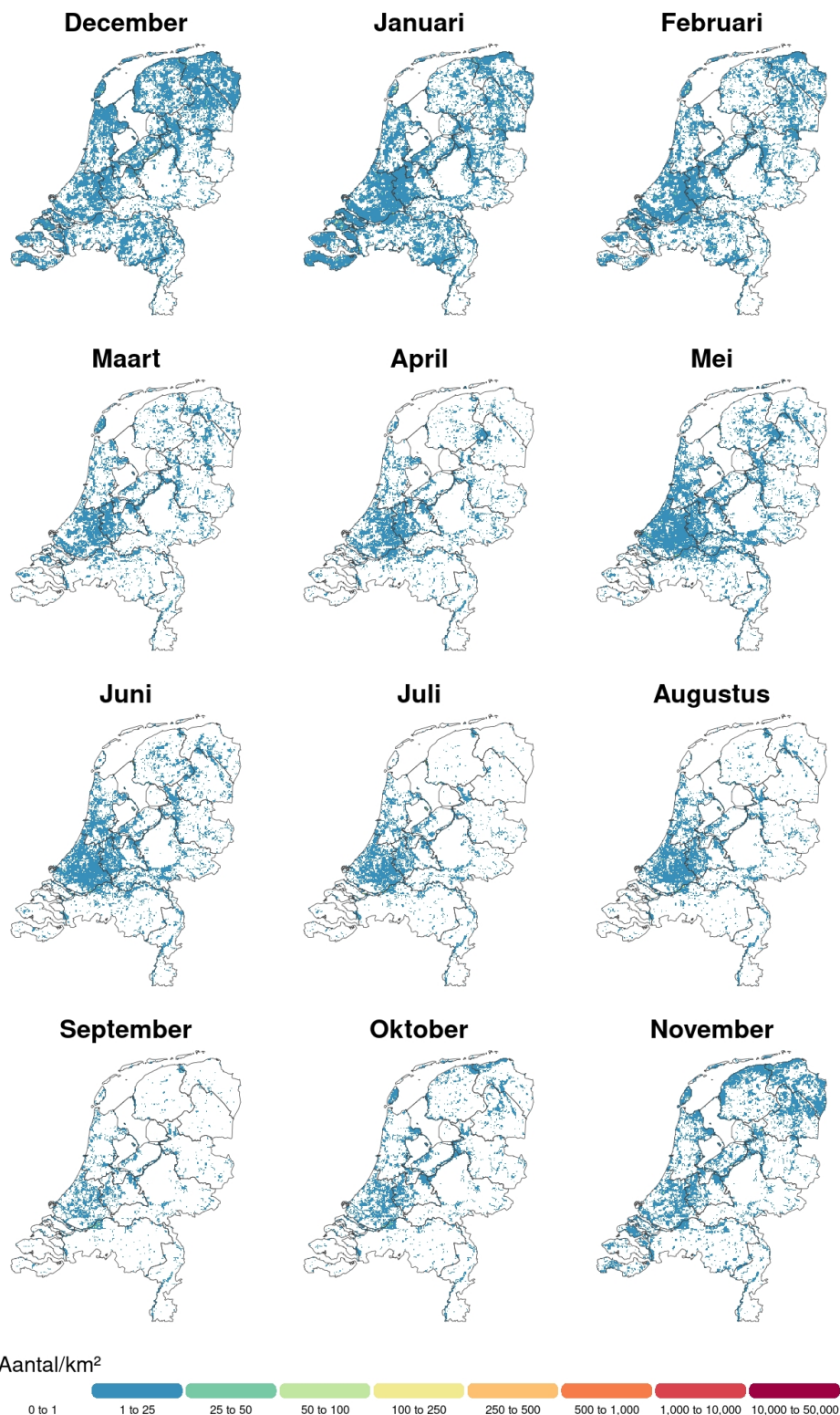


Figuur 4. Verspreiding van alle met vogelgriep geassocieerde vogelsoorten tezamen per administratieve regio in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4 Verspreiding per soortgroep

3.4.1 Zwanen

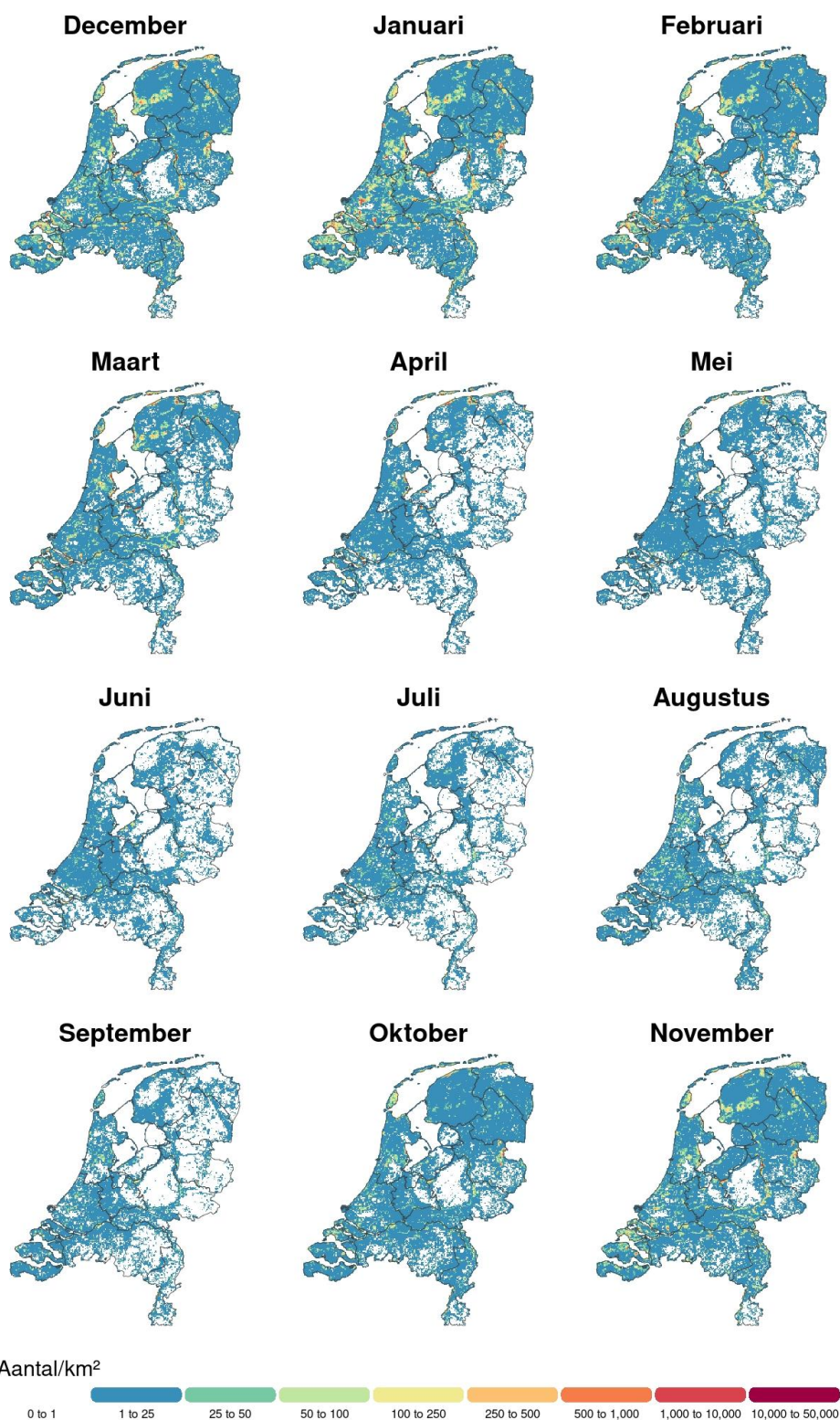
De verspreiding van zwanen is in sterke mate gebonden aan de ligging van waterrijke en/of agrarische gebieden (figuur 5). Knobbelzwaan is het talrijkst en komt jaarrond voor, terwijl Kleine en Wilde Zwanen hier hoofdzakelijk van november tot maart aanwezig zijn.



Figuur 5. Verspreiding van de soortgroep zwanen in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.2 Ganzen

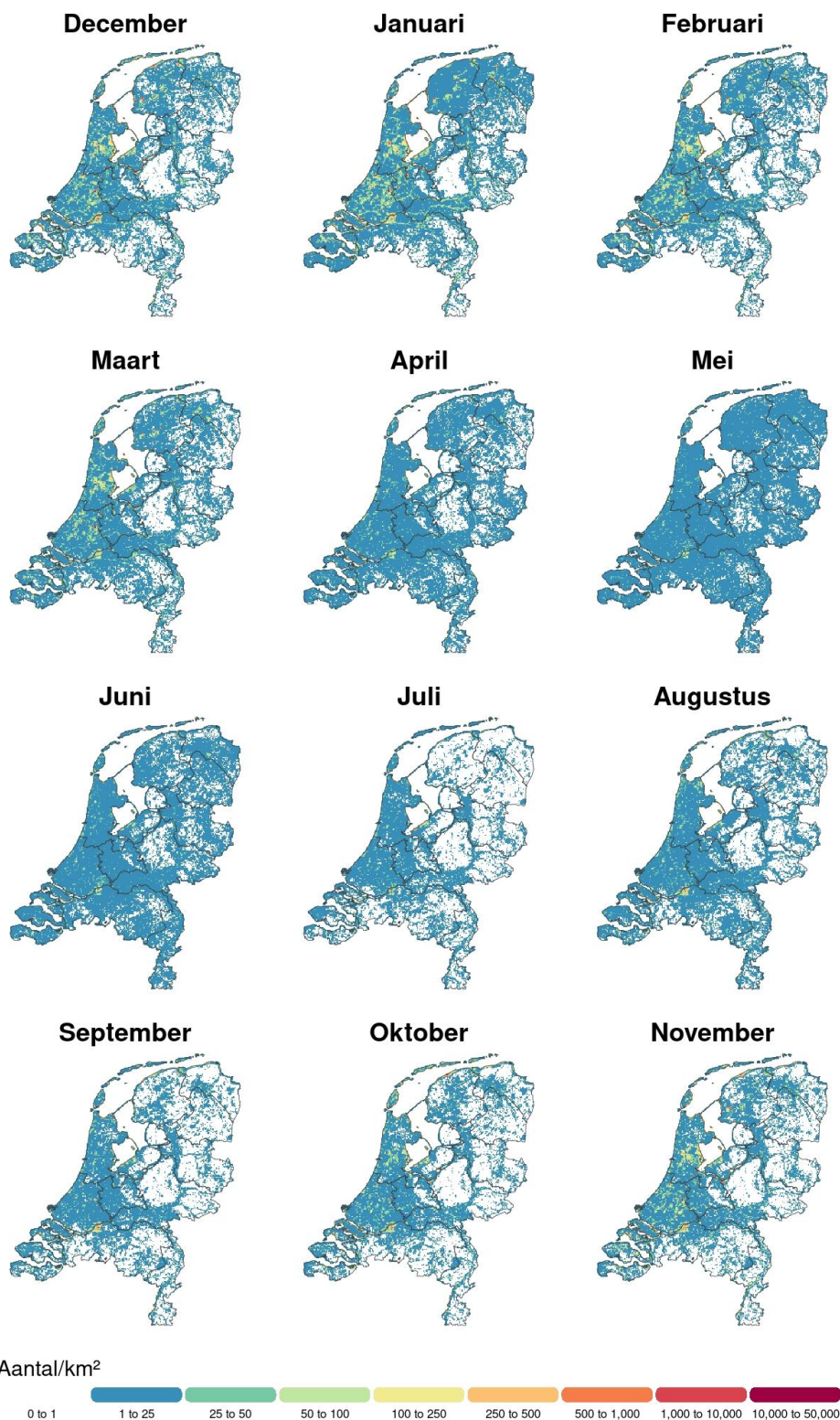
De verspreiding van ganzen is in sterke mate gebonden aan de ligging van waterrijke en/of agrarische gebieden. De regionale en fenologische verschillen zijn aanzienlijk (figuur 6). De aantallen in oktober-maart zijn fors hoger dan in de rest van het jaar, doordat een aantal noordelijk broedende soorten (bijv. Kolgans en Toendrarietgans) ons land vrijwel alleen bezoekt om er te overwinteren.



Figuur 6. Verspreiding van de soortgroep ganzen in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.3 Eenden

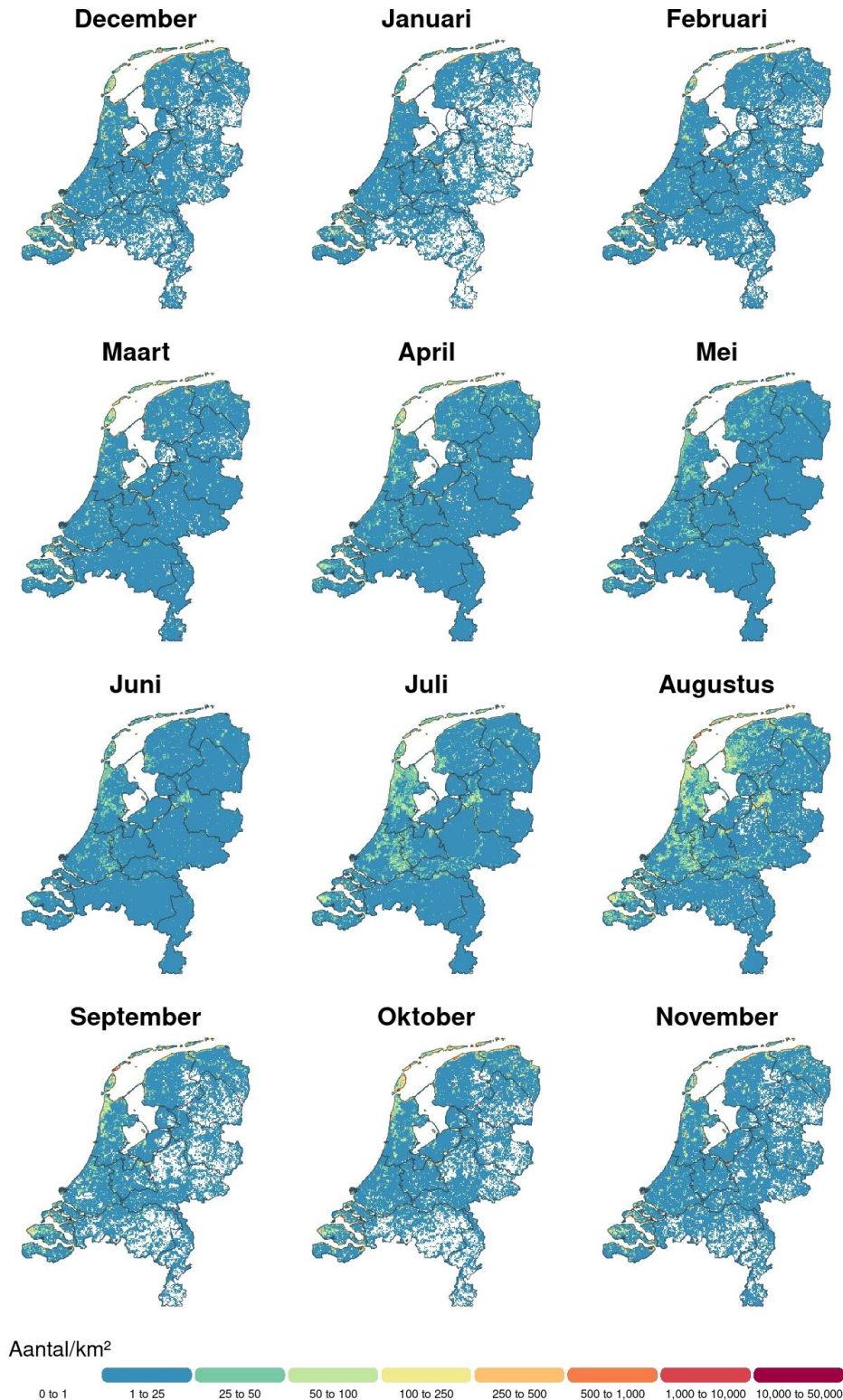
De soortgroep eenden omvat een flink aantal soorten, vooral in het winterhalfjaar. Dan zijn er forse regionale verschillen. Smienten en enkele andere soorten in vooral graslandgebieden domineren dan het beeld. Gedurende het broedseizoen (april-juni) is een kleiner aantal soorten aanwezig met een meer gelijkmatige verspreiding over het land (figuur 7).



Figuur 7. Verspreiding van de soortgroep eenden in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.4 Steltlopers

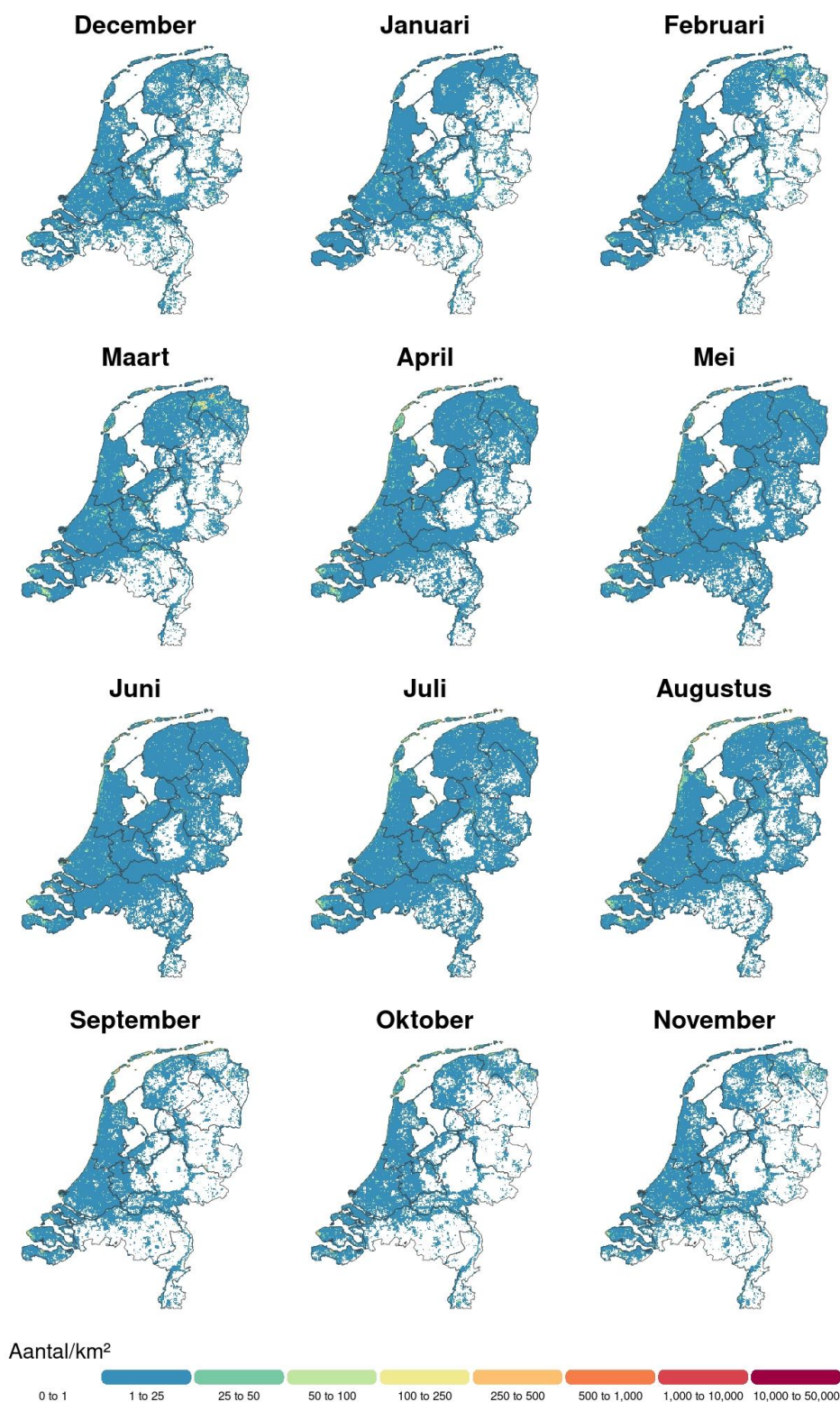
De soortgroep steltlopers omvat een flink aantal soorten met bovendien flinke ecologische verschillen. Zo zijn er typische weidevogels zoals Grutto en Kievit die hier broeden, maar ook lange afstandstrekkers als Rosse Grutto en Kanoet die vooral als doortrekker of wintergast voorkomen. De dichtheden en diversiteit aan soorten is veelal het hoogst in de kustprovincies, in het bijzonder in het Waddengebied en de Delta (figuur 8).



Figuur 8. Verspreiding van de soortgroep steltlopers in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.5 Meeuwen en sterns

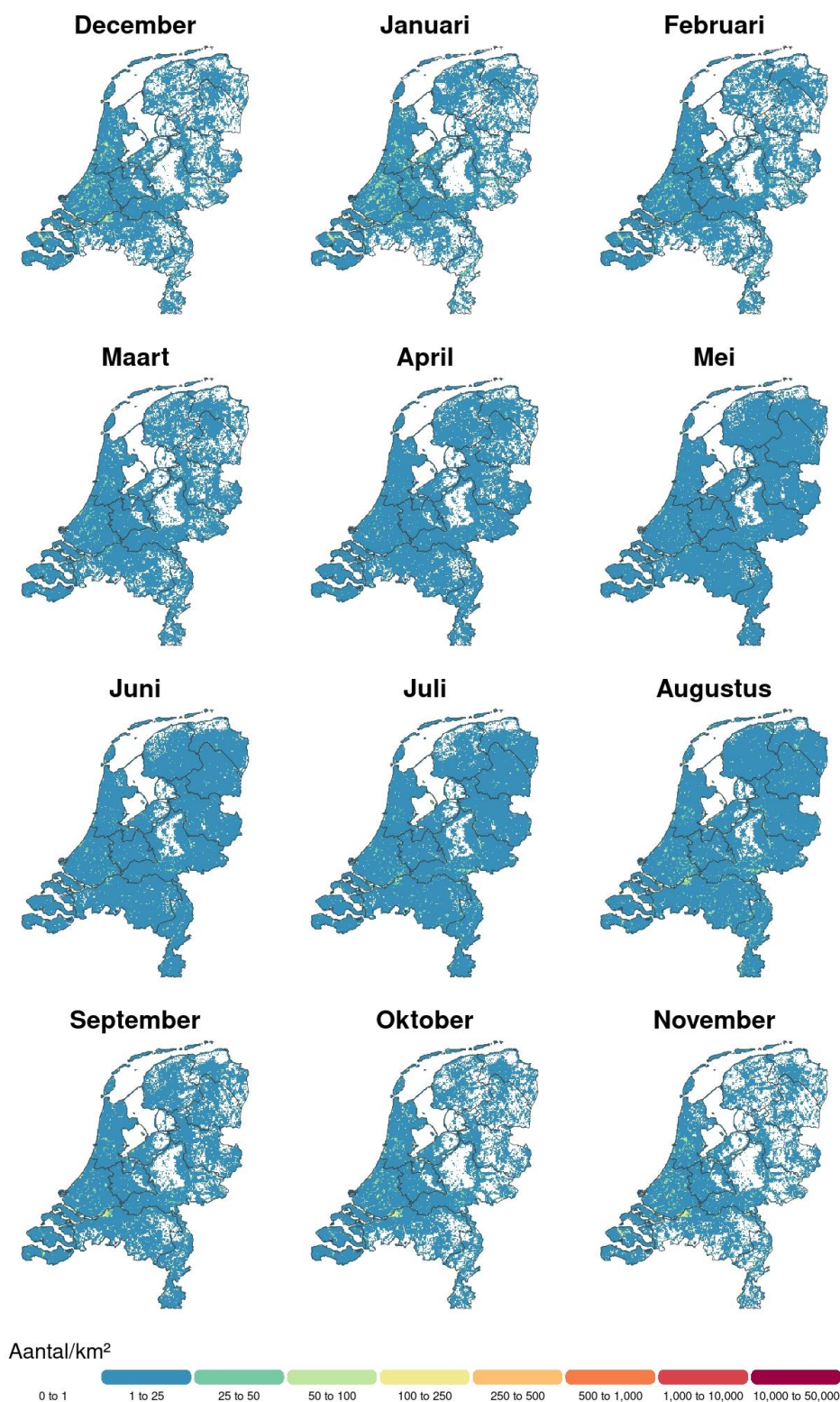
Meeuwen en sterns staan bekend als typische kustvogels. Hoewel de soortendiversiteit en dichtheden veelal het hoogst zijn langs de kust, kunnen diverse soorten tot diep in het binnenland voorkomen (figuur 9). Veel soorten hebben een grote actieradius. Met name meeuwensoorten bezoeken frequent ook stedelijke en agrarische gebieden om te foerageren.



Figuur 9. Verspreiding van de soortgroep meeuwen en sterns in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.6 Overige watervogels

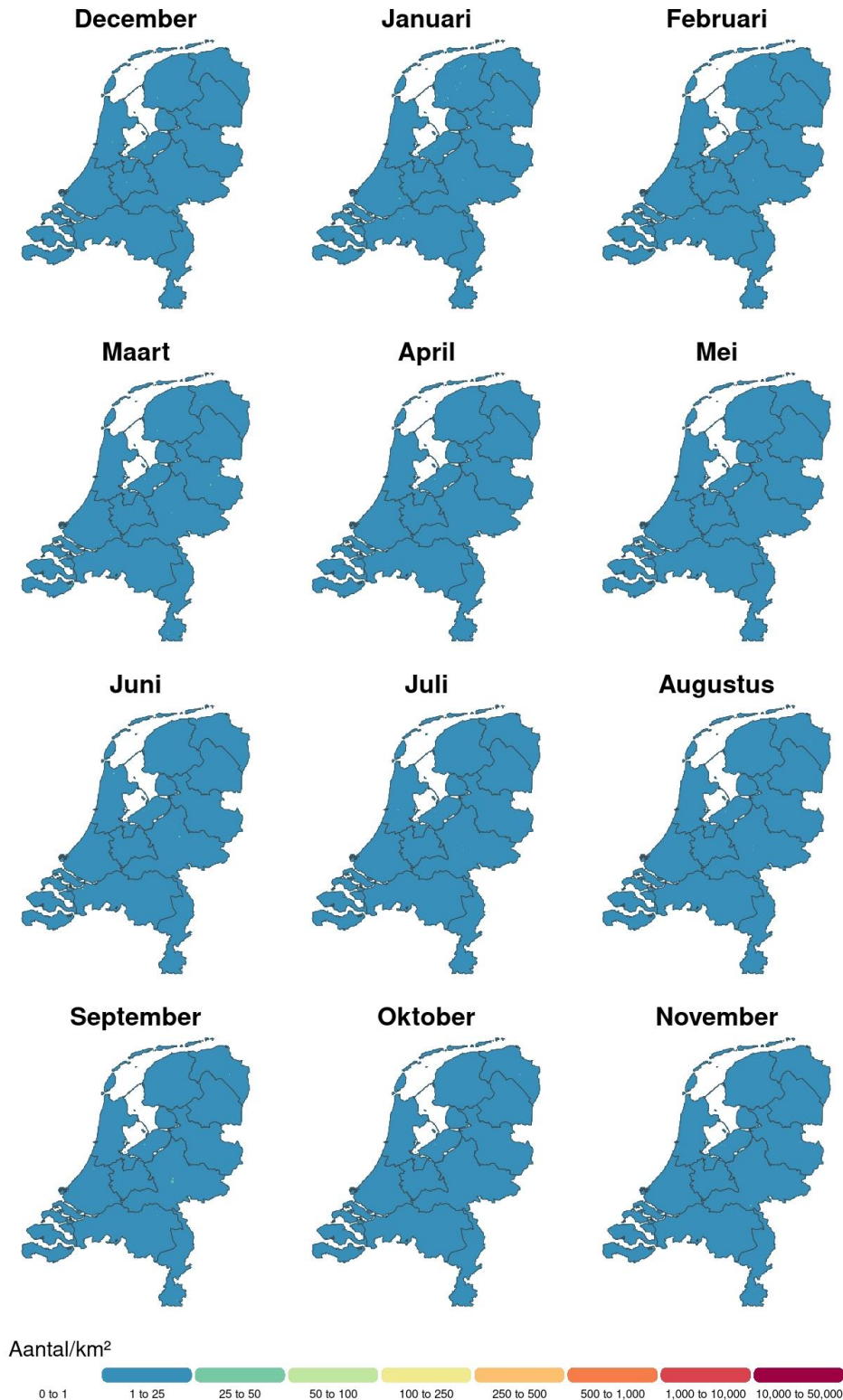
In de soortgroep overige watervogels zit een aantal uiteenlopende soorten, waaronder Aalscholver, Blauwe Reiger, Fuut, Meerkoet, Lepelaar en Ooievaar. Het accent van hun verspreiding ligt op waterrijke en agrarische gebieden. Vooral in het winterhalfjaar zijn er aanzienlijke regionale verschillen (figuur 10).



Figuur 10. Verspreiding van de soortgroep overige watervogels in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.7 Roofvogels en uilen

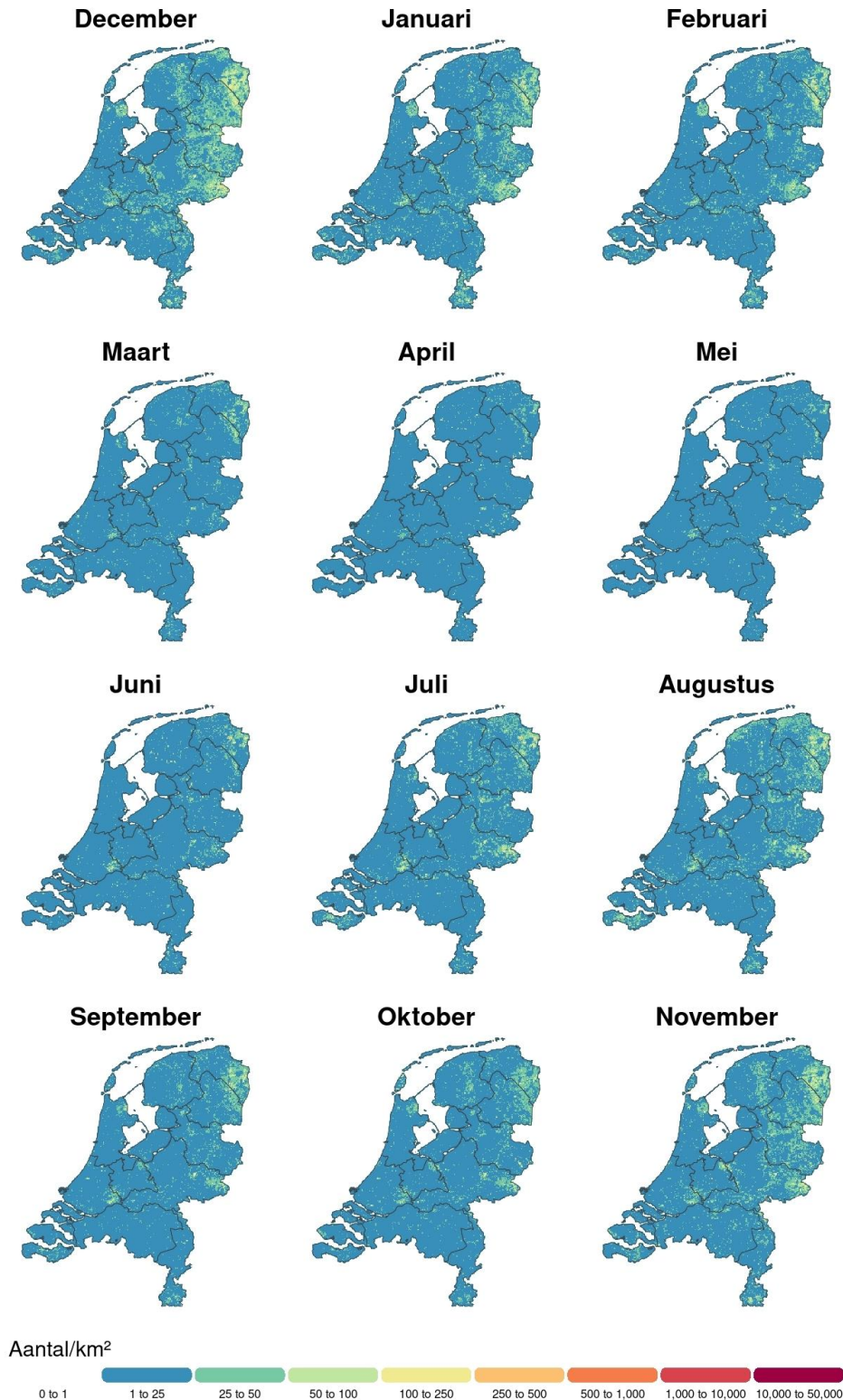
Roofvogels en uilen worden minder sterk met vogelgriep geassocieerd dan watervogels. De verspreiding van deze soortgroep is bijzonder uniform. De meeste soorten kennen een ruime verspreiding over het land in lage dichtheden, met slechts geringe lokale verschillen. De Buizerd komt bijvoorbeeld in bijna elk kilometerhok wel voor, maar nergens in grote aantallen. Dit vertaalt zich in kaarten die nauwelijks van elkaar verschillen (figuur 11).



Figuur 11. Verspreiding van de soortgroep roofvogels en uilen in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

3.4.8 Kraaien

Kraaiachtigen worden minder sterk met vogelgriep geassocieerd dan watervogels. Deze soortgroep komt tamelijk gelijkmatig verspreid over het land in vrij lage dichtheden voor met geringe verschillen tussen de maanden. De aantallen zijn gemiddeld iets hoger in het oosten dan in het westen (figuur 12). De meeste soorten zijn niet sterk gebonden aan waterrijke gebieden, maar komen wel talrijk in stedelijke en agrarische gebieden voor.



Figuur 12. Verspreiding van de soortgroep kraaien in Nederland op basis van vogeltellingen uit 2017-2024.

4 Conclusie

Dankzij goede modellen zijn we erin geslaagd om effectieve maandelijkse voorspellingen te maken voor alle geselecteerde vogelsoorten. Aan de hand daarvan hebben we verspreidingskaarten gemaakt, die de ruimtelijke verspreiding van de verschillende soortgroepen over de maanden weergeven. We hopen dat deze kaarten helpen om tijdens vogelgriepuitbraken nauwkeuriger in te kunnen schatten waar het risico op besmetting vanuit wilde vogels op dat moment het hoogst is.



Zilvermeeuwen op het Noordzeestrand van Velsen.

Literatuur

- Bianchini K. & Tozer D.C. 2023. Using Breeding Bird Survey and eBird data to improve marsh bird monitoring abundance indices and trends. *Avian Conservation and Ecology* 18: 4. <https://doi.org/10.5751/ACE-02357-180104>
- Efron B. 2014. Estimation and accuracy after model selection. *Journal of the American Statistical Association* 109: 991-1007.
- Fink D., Auer T., Johnston A., Ruiz-Gutierrez V., Hochachka W. M. & Kelling S. 2020. Modeling avian full annual cycle distribution and population trends with citizen science data. *Ecological Applications* 30: e02056. <https://doi.org/10.1002/eap.2056>
- Fink D., Damoulas T. & Dave J. 2013. Adaptive Spatio-Temporal Exploratory Models: Hemisphere-wide species distributions from massively crowdsourced eBird data. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* 27: 1284-1290.
- Fink D., Hochachka W.M., Zuckerberg B., Winkler D.W., Shaby B., Munson M.A., Hooker G., Riedewald M., Sheldon D. & Kelling S. 2010. Spatiotemporal exploratory models for broad-scale survey data. *Ecological Applications* 20: 2131-2147. <https://doi.org/10.1890/09-1340.1>
- Gallego-Zamorano J., Davies J., Reinartz R., Robinson R., Gargallo G., Faverjon C., Sierdsema H. & Stahl J. 2024. Updates to the wild bird abundance and movement models for the early warning system for avian influenza in the EU. *EFSA Supporting Publications* 21: 9000E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2024.EN-9000>
- Guillera-Aroita G. 2017. Modelling of species distributions, range dynamics and communities under imperfect detection: advances, challenges and opportunities. *Ecography* 40: 281-295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ecog.02445>
- Hertzog L.R., Frank C., Klimek S., Röder N., Böhner H.G.S. & Kamp J. 2021. Model-based integration of citizen science data from disparate sources increases the precision of bird population trends. *Diversity and Distributions* 27: 1106-1119. <https://doi.org/10.1111/ddi.13259>
- Johnston A., Fink D., Reynolds M.D., Hochachka W.M., Sullivan B.L., Bruns N.E., Hallstein E., Merrifield M.S., Matsumoto S. & Kelling S. 2015. Abundance models improve spatial and temporal prioritization of conservation resources. *Ecological Applications* 25: 1749-1756.
- Robinson O.J., Ruiz-Gutierrez V., Reynolds M.D., Golet G.H., Strimas-Mackey M. & Fink D. 2020. Integrating citizen science data with expert surveys increases accuracy and spatial extent of species distribution models. *Diversity and Distributions* 26: 976-986. <https://doi.org/10.1111/ddi.13068>
- Slaterus R., Schekkerman H., Kleyheeg E., Sierdsema H. & Foppen R. 2022. Impact van hoogpathogene aviaire influenza op vogelpopulaties in Nederland. Sovon-rapport 2022/90. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Sovon Vogelonderzoek Nederland 2018. Vogelatlas van Nederland. Broedvogels, wintervogels en 40 jaar verandering. Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen.
- Zulian V., Miller D.A.W. & Ferraz G. 2021. Integrating citizen-science and planned-survey data improves species distribution estimates. *Diversity and Distributions* 27: 2498-2509. <https://doi.org/10.1111/ddi.13416>

Bijlage 1 Evaluatie van de prestaties van het model

Om de modelresultaten te valideren, hebben we de prestaties van het model getest door middel van kruisvalidatie met een steekproef van 70% van de gegevens om de resterende 30% van de waarnemingen die niet in het model waren opgenomen, te voorspellen. We hebben de AUC, Kappa, R2, F1-statistiek, precisie, recall (sensitiviteit) en gemiddelde absolute fout (MAE) berekend, aangezien dit gangbare maatstaven zijn voor het evalueren van soortverspreidingsmodellen en machine learning-modellen.

- AUC (Area Under the ROC Curve) meet het vermogen van het model om onderscheid te maken tussen de aanwezigheid en afwezigheid van een soort. De waarden variëren van 0 tot 1, waarbij 1 staat voor een perfect onderscheid en 0,5 voor niet beter dan willekeurig gissen. Hogere waarden zijn beter.
- Kappa (Cohen's Kappa) meet de overeenstemming tussen waargenomen en voorspelde classificaties, waarbij wordt gecorrigeerd voor overeenstemming die toevallig optreedt. De waarden variëren van -1 tot 1, waarbij 1 perfecte overeenstemming aangeeft, 0 geen overeenstemming beter dan toeval aangeeft en negatieve waarden slechter dan toeval aangeven.
- F1-score is het harmonische gemiddelde van precisie en recall (zie onder), wat een enkele maatstaf oplevert die beide in evenwicht brengt. De waarden variëren van 0 tot 1, waarbij hogere waarden duiden op betere prestaties.
- Precisie (of positief voorspellende waarde) is de verhouding tussen echte positieven en de som van echte en valse positieven. Het meet de nauwkeurigheid van positieve voorspellingen. De waarden variëren van 0 tot 1, waarbij hogere waarden wijzen op minder valse positieven.
- Recall (gevoeligheid of percentage echte positieven) is de verhouding tussen het aantal echte positieven en de som van echte positieven en valse negatieven. Het meet het vermogen om alle relevante gevallen (echte positieven) te detecteren. De waarden variëren van 0 tot 1, waarbij hogere waarden wijzen op minder valse negatieven.
- PearsonR / SpearmanR geven beide de correlatie aan tussen voorspelde en waargenomen abundantie (respectievelijk lineair en op rangorde gebaseerd). Waarden dicht bij 1 duiden op een sterke correlatie.
- R2 is het deel van de variantie dat door het model wordt verklaard. De waarden variëren van 0 tot 1, waarbij hogere waarden wijzen op een betere aansluiting van het model.
- Mean Absolute Error (MAE) meet de gemiddelde omvang van fouten in een reeks voorspellingen, zonder rekening te houden met hun richting. Lagere waarden duiden op betere modelprestaties. MAE geeft de gemiddelde fout weer in dezelfde eenheden als de doelvariabele (in dit geval de abundantie van vogels).
- Gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE) is hetzelfde als MAE, maar grote fouten worden zwaarder bestraft. Hoe lager de waarden, hoe beter het model past.

Over het algemeen lieten alle modellen sterke classificatie- en detectieprestaties zien voor alle groepen (figuur 13). Alle modellen hadden hoge AUC-waarden (>0,75), wat betekent dat de verspreiding van de soorten nauwkeurig werd voorspeld. De F1-score, die de recall- en precisiewaarden in evenwicht brengt, is telkens hoog (>0,90), wat betekent dat de modellen effectief zijn in het identificeren van locaties waar vogels talrijk aanwezig zijn en andere gebieden niet overschatten (minimale valse positieven). Correlatiemetrics (Pearson's $r = 0,42-0,68$; Spearman's $r = 0,37-0,73$; R2-waarden rond 0,40) tonen een matig tot hoog

vermogen om variaties in maandelijkse abundantiepatronen vast te leggen. De modellen presteerden het slechtst voor generalistische soorten zoals kraaien en roofvogels, die moeilijk te voorspellen zijn op basis van hun ecologie (overal in tamelijk lage dichtheden voorkomen). De over het algemeen lage waarden van de gemiddelde absolute fout (MAE) en de gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE) voor alle soorten duiden echter ook op een goede modelprestatie.

	Alle soorten	Zwanen	Ganzen
AUC	0.84	0.78	0.78
F1	0.94	0.93	0.93
Kappa	0.43	0.41	0.38
Recall	0.98	0.97	0.97
Precision	0.90	0.89	0.88
PearsonR	0.63	0.58	0.67
SpearmanR	0.65	0.60	0.68
R2	0.40	0.34	0.45
MAE	0.43	0.41	0.59
MSE	0.57	0.51	0.98

	Eenden	Steltlopers	Meeuwen
AUC	0.85	0.86	0.86
F1	0.93	0.95	0.94
Kappa	0.49	0.57	0.58
Recall	0.97	0.98	0.97
Precision	0.90	0.91	0.92
PearsonR	0.68	0.68	0.63
SpearmanR	0.73	0.73	0.72
R2	0.46	0.45	0.40
MAE	0.46	0.51	0.43
MSE	0.60	0.73	0.58

	Overige watervogels	Roofvogels	Kraaien
AUC	0.80	0.85	0.78
F1	0.93	0.95	0.97
Kappa	0.37	0.21	0.08
Recall	0.98	1.00	1.00
Precision	0.88	0.91	0.94
PearsonR	0.65	0.54	0.42
SpearmanR	0.68	0.41	0.37
R2	0.42	0.30	0.18
MAE	0.35	0.18	0.64
MSE	0.33	0.09	0.84

Figuur 13. Evaluatie van de prestaties van het model. Donkerdere kleuren geven een hogere waarde aan. Merk op dat de gemiddelde absolute fout (MAE) en de gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE) niet gekleurd zijn, omdat ze niet op een schaal tussen 0 en 1 liggen, maar op een schaal van de abundantie van de soorten.



Sovon Vogelonderzoek Nederland

Postbus 6521
6503 GA Nijmegen
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
024 7 410 410

info@sovon.nl
www.sovon.nl

Sovon Vogelonderzoek Nederland werkt met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem, gecertificeerd door EIK Certificering overeenkomstig ISO 9001:2015. Dit rapport is met uiterste zorg door Sovon (en eventuele andere partijen) opgesteld. Sovon aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van gegevens van dit onderzoek.



Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Sovon en/of opdrachtgever.