



---

Wageningen Bioveterinary Research Report 2211632

## **Risicofactoren voor introductie van HPAI-virus op Nederlandse commerciële pluimveebedrijven, 2014-2022**

J.L. Gonzales, W.H.G.J. Hennen, R. Petie, E. de Freitas Costa, N. Beerens,  
R. Slaterus, T. Kuiken, J. Stahl en A.R.W. Elbers

Augustus 2022



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

# Risicofactoren voor introductie van HPAI-virus op Nederlandse commerciële pluimveebedrijven, 2014-2022

J.L. Gonzales<sup>1</sup>, W.H.G.J. Hennen<sup>2</sup>, R. Petie<sup>1</sup>, E. de Freitas Costa<sup>1</sup>, N. Beerens<sup>1</sup>,  
R. Slaterus<sup>3</sup>, T. Kuiken<sup>4</sup>, J. Stahl<sup>3</sup> en A.R.W. Elbers<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen Bioveterinary Research, Lelystad; <sup>2</sup> Wageningen Economic Research, Den Haag;

<sup>3</sup> Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen; <sup>4</sup> Erasmus University Medical Center, Rotterdam

---

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Bioveterinary Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (Projectnr. BO-43-111-72 / KD-2022-031)

Wageningen Bioveterinary Research  
Lelystad, 1 Augustus 2022

---

Dit rapport is gratis te downloaden op [www.wur.nl/bioveterinary-research](http://www.wur.nl/bioveterinary-research) (onder Wageningen Bioveterinary Research publicaties).

© 2022 Wageningen Bioveterinary Research

Postbus 65, 8200 AB Lelystad, T 0320 23 82 38, E [info.bvr@wur.nl](mailto:info.bvr@wur.nl), [www.wur.nl/bioveterinary-research](http://www.wur.nl/bioveterinary-research).  
Wageningen Bioveterinary Research.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Wageningen Bioveterinary Research Report 2211632

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	<b>Achtergrond</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Werkwijze</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>13</b>
	3.1 Univariabele analyse	<b>13</b>
	3.2 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen en landschapsvariabelen	<b>14</b>
	3.3 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen en wilde vogelsoorten dichtheid	<b>17</b>
	3.4 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen, landschapsvariabelen en wilde vogelsoorten dichtheid	<b>18</b>
	3.5 Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven	<b>20</b>
	3.6 Exploreren van de verschillen tussen HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in de provincie Zeeland en de HPAI- besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Discussiepunten</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>31</b>
<b>Literatuur</b>		<b>33</b>
<b>Bijlagen</b>		<b>35</b>



---

# Samenvatting

Eerder onderzoek naar risicofactoren voor introductie van het laag-pathogene aviaire influenza (LPAI) virus op commerciële pluimveebedrijven gaf aan dat er verschillen waren in introductierisico tussen pluimveebedrijfstypen en enkele landschapvariabelen zoals afstand tot waterwegen en afstand tot natuurgebieden met een bepaalde dichtheid aan wilde watervogels. Sinds 2014 en met name in het huidige vogelgriepseizoen zijn er verschillende commerciële pluimveebedrijven besmet geraakt met hoog-pathogene aviaire influenza (HPAI) virus. Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV) vraagt zich af of de risicofactoren zoals deze in het verleden voor de introductie van LPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven zijn vastgesteld, ook van toepassing zijn voor introductie van HPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven.

De analyse van vermoedelijke risicofactoren voor introductie van HPAI virus op commerciële pluimveebedrijven in de periode 2014-2022 werd uitgevoerd in analogie met de eerder uitgevoerde analyse voor introductie van LPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven, met daaraan toegevoegd dichtheden van wilde vogels rond pluimveebedrijven: in totaal 39 landschaps- en wilde vogelvariabelen. De landschapsvariabelen zijn individueel pluimveebedrijf-specifiek, d.w.z. de inhoud van de landschaps-variabele heeft betrekking op de directe omgeving van een individueel commercieel pluimveebedrijf. In tegenstelling tot de landschapvariabelen waren de wilde vogeldichtheden niet pluimveebedrijf-specifiek, d.w.z. voor verschillende pluimveebedrijven in dezelfde gridcel van 1 x 1 km, wordt dezelfde inhoud/waarde van een wilde vogeldichtheid gebruikt. Dit komt omdat de resolutie van de wilde vogelgegevens niet toereikend is om het pluimveebedrijf-specifiek te maken. In de analyse werden in totaal 71 primair geïnfecteerde commerciële pluimveebedrijven meegenomen, naast alle niet-besmette pluimveebedrijven in Nederland.

Eenden- en kalkoenbedrijven lieten het hoogste percentage besmettingen zien; (op)fok- en vermeerderingsbedrijven en legbedrijven kenden een onderling vergelijkbaar en lager percentage HPAI-besmette bedrijven. Onder de legbedrijven vielen zowel de reguliere (scharrel)legbedrijven als de legbedrijven met uitloop. Aangezien er vrijwel altijd een ophokplicht is ingesteld aan het begin van een vogelgriepseizoen, is er geen onderscheid gemaakt naar legbedrijven met en zonder uitloop omdat al het pluimvee tijdens het vogelgriep-seizoen binnen in de stal aanwezig was. Vleeskuikenbedrijven kenden het laagste percentage HPAI-besmette bedrijven. Omdat er geen gegevens over bekend waren, kon er bij de vleeskuikenbedrijven geen onderscheid gemaakt worden tussen reguliere vleeskuikens en traag-groeiende vleeskuikens.

Analyse van het multivariabele model waarin pluimveebedrijfstypen, landschapsvariabelen en geografische coördinaten waren opgenomen laat het volgende zien:

- Pluimveebedrijven met vleeskuikens hebben een 5 keer kleinere kans op besmetting met HPAI-virus in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven (gebruikt als de referentie in vergelijking met de andere pluimveebedrijfstypen). Eendenbedrijven en kalkoenbedrijven hebben respectievelijk een bijna 5 en 7 keer grotere kans op besmetting met HPAI-virus in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven;
- Naarmate er meer oppervlakte aan water is in de directe omgeving van het pluimveebedrijf en de afstand van het dichtstbijzijnde aanwezige water tot het pluimveebedrijf korter is (met name 0 – 50 meter), neemt het HPAI-introductierisico toe; deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat water(wegen) als sloten en vaarten aantrekkelijk zijn voor watervogels als bepaalde eenden, ganzen en zwanen, die bekende vogelgriepvirus dragers zijn;
- Naarmate het aantal hectaren grasland in de directe omgeving van het pluimveebedrijf toeneemt, neemt ook het HPAI-introductierisico toe; deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat grasland aantrekkelijk is als foerageergebied voor bepaalde eenden, ganzen en zwanen, die bekende vogelgriepvirus dragers zijn;
- Naarmate de afstand van het pluimveebedrijf tot bos korter is, neemt het HPAI-introductierisico af; deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat nabijheid van bos in tegenstelling tot

---

open (gras)weidegebied minder aantrekkelijk is als habitat is voor wilde watervogels, die drager kunnen zijn van het vogelgriepvirus;

- Als de menselijke bevolkingsdichtheid toeneemt in de buurt van een pluimveehouderij, neemt het HPAI-introductierisico af; deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met de mate van urbanisatie;
- De associatie met geografische coördinaten geeft aan dat het HPAI-introductierisico van Oost naar West en van Zuid naar Noord in Nederland toeneemt. Deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met de frequente aanwezigheid van watergebieden in het Westen en Noorden van Nederland; tevens zijn dit de gebieden waar vliegroutes van migrerende wilde vogels over heen lopen.

Analyse van het multivariabele model met wilde vogelpopulatie-dichtheid, pluimveebedrijfstype en X-Y geografische coördinaten laat het volgende zien:

- Er is een sterke correlatie tussen de verschillende wilde vogelsoortgroepen, waardoor er steeds maar één wilde vogelsoortgroep in het model het sterkst was;
- De best fittende modellen (modellen waarbij de gevonden variatie in HPAI-besmette pluimveebedrijven het best kan worden verklaard door modelparameters (risicofactoren) waren die waarbij de wilde vogeldichtheid werd gebruikt van grondeleenden (tot deze groep behoren o.a. Wilde eend, Smient, Pijlstaart, Winter- en zomertaling, Krakeend en Slobeend), de roofvogels & uilen (Sperwer, Havik, Blauwe Kiekendief, Zeearend, Buizerd, Torenavalk, Smelleken, Slechtvalk, Ransuil) of de groep van andere vogels van natte habitats (Roerdomp, Blauwe Reiger, Grote Zilverreiger, Ooievaar, Aalscholver, Kuifaalscholver, Dodaars, Fuut, Waterral, Waterhoen, Meerkoet);
- Het multivariabele model met de pluimveebedrijfstypen, landschapsvariabelen en X-Y coördinaten (dus zonder wilde vogeldichtheid van een vogelsoort) de beste fit heeft; het model waarin in ieder geval een wilde vogelvariabele geforceerd wordt opgenomen (en niet het best-fittende model is), is een model waarin naast landschapsvariabelen, pluimveebedrijfstype en X-Y coördinaten, dichtheid van grondeleenden in een 1 x 1 km gebied rond een pluimveebedrijf aanwezig is.

Een opmerkelijke observatie is de afwezigheid van introductie van HPAI-virus op pluimveebedrijven gesitueerd in de provincie Zeeland gedurende al die afgelopen jaren, ondanks de grote aantallen migrerende watervogels die deze regio ook aandoen. Onderzoek naar verschillen in het gebruik van het land rondom pluimveebedrijven en de dichtheid aan wilde vogels van 70 pluimveebedrijven gesitueerd in Zeeland (HPAI-onbesmet) ten opzichte van de 71 HPAI-besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland laat zien dat:

- de gemiddelde oppervlakten aan graan, suikerbiet, overige landbouwgewassen, groenten, bomen en fruitbomen significant groter waren rond Zeeuwse pluimveehouderijen in vergelijking met de besmette pluimveehouderijen elders in Nederland; deze landschapsvariabelen zijn negatief geassocieerd met de kans op HPAI-introductie op pluimveebedrijven;
- de Reilly-index (combineert dichtheid en oppervlakte) van water in een radius van 500m rondom het pluimveebedrijf en de oppervlakte grasland (beiden positief gecorreleerd met de kans op HPAI-virus introductie) was hoger bij besmette pluimveebedrijven in vergelijking met de pluimveebedrijven in Zeeland.
- Er waren gemiddeld hogere dichtheden aan zwanen, roofvogels en uilen, en duikeenden in de gridcellen van 1 x 1 km bij besmette pluimveebedrijven in vergelijking met niet-besmette pluimveebedrijven in Zeeland, en hogere dichtheden aan kraaien, duiven en fazanten in Zeeland dat past bij een meer gemengd akkerbouw/fruitteelt/groente gebied.

---

# 1 Achtergrond

Eerder onderzoek naar risicofactoren van introductie van laag-pathogene aviaire influenza (LPAI) virus op commerciële pluimveebedrijven (Gonzales et al., 2013; Bouwstra et al., 2017) gaf aan dat

- a) uitlooplegbedrijven, eendenbedrijven en kalkoenbedrijven een groter risico hebben op introductie van LPAI-virus in vergelijking met reguliere legbedrijven;
- b) voor alle type pluimveebedrijven het risico op introductie van LPAI-virus afnam met het toenemen van de afstand tot middelgrote waterwegen (vaarten/sloten);
- c) voor alle type pluimveebedrijven het risico op introductie van LPAI-virus afnam met het toenemen van de afstand tot natuurgebieden met een dichtheid van 5 of meer wilde watervogels per hectare.

In 2003, de eerste keer dat er het hoog-pathogene aviaire influenza (HPAI) virus in Nederland werd vastgesteld na een afwezigheid van bijna 75 jaar, was de besmetting het gevolg van een mutatie van LPAI-virus van subtype H7 in besmet pluimvee naar HPAI-virus. Gedurende de 2003-epidemie was er sprake van aanzienlijke tussen-bedrijfstransmissie.

Sinds 2014 raken pluimveebedrijven besmet door contact met HPAI-virus dat afkomstig is van wilde trekvogels die het virus op hun trekroutes hebben meegenomen naar Nederland of door contact met HPAI-virus dat door standvogels in Nederland verder wordt verspreid nadat de standvogels in contact gekomen zijn met virus van besmette trekvogels.

Op het moment dat HPAI-virus in Nederland wordt aangetroffen bij wilde of gehouden vogels, wordt er meestal snel een ophokplicht uitgevaardigd door de overheid, waardoor al het buiten-lopende pluimvee in afgesloten stallen moet worden gehuisvest. Ondanks de ophokplicht raakt pluimvee op pluimveebedrijven besmet met HPAI-virus. Via welke route het virus vanuit de omgeving in de stal bij het pluimvee terecht kan komen is nog onbekend; besmette wilde vogels komen op dat moment al niet meer in direct contact met het pluimvee dat buiten loopt. Sinds 2014 raken er bijna jaarlijks enkele pluimveebedrijven besmet met HPAI-virus in Nederland, maar in de periode oktober 2021-juni 2022 zijn bijna 50 commerciële pluimveebedrijven besmet geraakt. Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV) vraagt zich af of de risicofactoren zoals deze in het verleden voor de introductie van LPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven zijn vastgesteld, ook van toepassing zijn voor introductie van HPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven.

Daarbij zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Zijn er verschillen in HPAI-introductiekansen (gemeten via de frequentie van uitbraken) tussen typen pluimveebedrijven?
- Welke risicofactoren zijn daarnaast geassocieerd met introductie van HPAI op pluimveebedrijven: landschapsvariabelen en dichtheden van wilde vogels rond pluimveebedrijven (en mogelijke interacties).

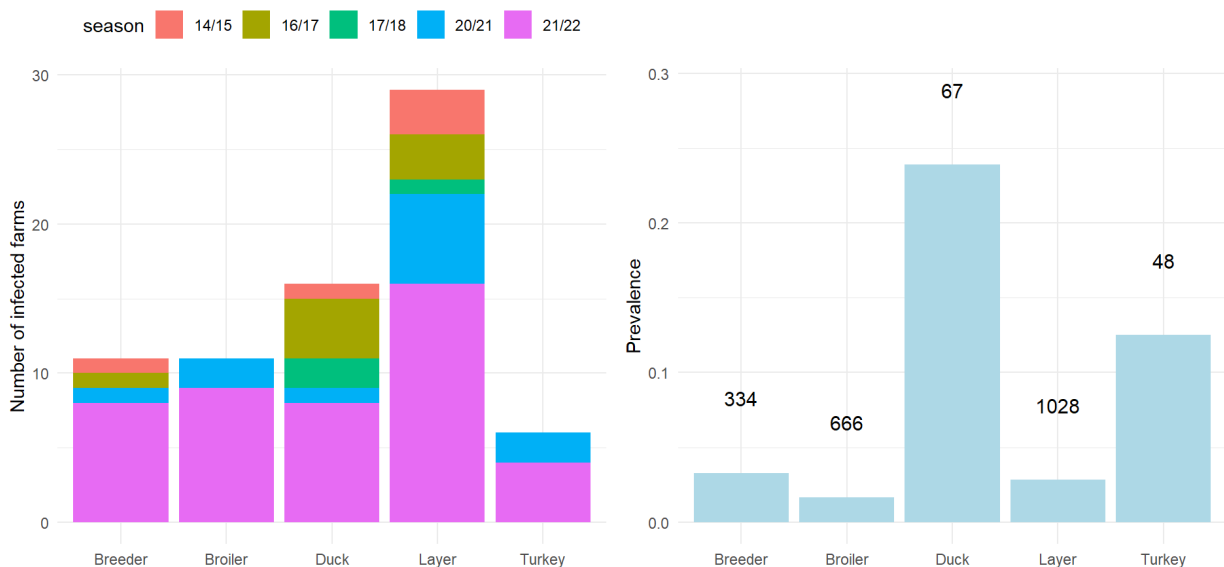




## 2 Werkwijze

De analyse van vermoedelijke risicofactoren werd uitgevoerd in analogie met de eerder uitgevoerde analyse voor introductie van LPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven (Bouwstra et al., 2017), met daaraan toegevoegd dichtheden van wilde vogels rond pluimveebedrijven:

- Commerciële pluimveebedrijven werden geïdentificeerd naar uniek bedrijf nummer (UBN) en gecategoriseerd naar type pluimveebedrijf: eenden, kalkoenen, vleeskuikens, legpluimvee, (op)fokdieren (zowel vleeskuiken als leg); er zijn alleen primair-geïnfecteerde commerciële pluimveebedrijven (dus geen hobbybedrijven zonder UBN) meegenomen in de analyse (Figuur 1); er zijn in de analyse in totaal 71 primair-geïnfecteerde commerciële pluimveebedrijven meegenomen;
- De locatie van HPAI-besmette en niet-besmette pluimveebedrijven in de periode 2014-2022 werd geïdentificeerd;



Figuur 1. Verdeling van het aantal HPAI-virus besmette pluimveebedrijven per pluimveebedrijfstype in Nederland in de periode 2014-2022 (linker figuur) en het percentage HPAI-virus besmette pluimveebedrijven per pluimveebedrijfstype in Nederland (rechter figuur; aantallen boven de kolommen zijn het totaal aantal pluimveebedrijven per pluimveebedrijfstype in Nederland). Breeder: (op)fok/vermeerderingsbedrijven; Broiler: vleeskuikenbedrijven; Duck: eendenbedrijven; Layer: legbedrijven; Turkey: kalkoenenbedrijven.

Uit figuur 1 (linker gedeelte) wordt duidelijk dat zowel in het vogelgriepseizoen 2020/2021 als in 2021/2022 bij elk pluimveebedrijfstype er HPAI-besmettingen zijn geweest. Bij kalkoen- en vleeskuikenbedrijven zijn HPAI-besmettingen alleen in deze twee laatste vogelgriep-seizoenen te zien geweest op de totale onderzoeksperiode van 2014-2022.

Eenden- en kalkoenenbedrijven hebben het hoogste percentage HPAI-besmette bedrijven (Figuur 1) en dat (op)fok- en vermeerderingsbedrijven en legbedrijven onderling een vergelijkbaar lager percentage HPAI-besmette bedrijven hebben. Onder de legbedrijven vallen zowel de reguliere (scharrel)legbedrijven als de legbedrijven met uitloop. Aangezien er vrijwel altijd een ophokplicht is ingesteld aan het begin van een vogelgriepseizoen, is er geen onderscheid gemaakt naar legbedrijven met en zonder uitloop omdat al het pluimvee tijdens het vogelgriepseizoen binnen in de stal aanwezig was. Vleeskuikenbedrijven kenden het laagste percentage HPAI-besmette bedrijven.

---

Verder zijn er in totaal 39 landschaps- en wilde vogelvariabelen meegenomen (Tabel 1).

De keuze van de verschillende landschapsvariabelen is gedaan op basis van literatuur, de eerdere LPAI-analyse en op basis van observaties bij bezoek aan HPAI-besmette pluimveebedrijven in het vogelgriepseizoen 2021-2022. De landschapsvariabelen zijn individueel pluimveebedrijf-specifiek, d.w.z. de inhoud van de landschapsvariabele heeft betrekking op de directe omgeving van een individueel commercieel pluimveebedrijf.

De bronnen van de gebruikte landschapsvariabelen waren:

- Basisregistratie Percelen (BRP) <https://data.overheid.nl/dataset/10674-basisregistratie-gewaspercelen--brp->
- Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT): <https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/grootchalige-topografie>
- Bestand Bodemgebruik CBS: <https://data.overheid.nl/dataset/25362-beschikbaarheid-zoet-grondwater-verzilting>
- Natuurnetwerk Nederland (NNN): <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/natuur-en-biodiversiteit/natuurnetwerk-nederland>
- Data verzilting in Nederland: <https://data.overheid.nl/dataset/25362-beschikbaarheid-zoet-grondwater-verzilting>
- Kaart hoogveen: Wösten, H., Brouwer, F., & Veraart, J. (2020). Kanskaart voor bescherming van koolstofvoorraad en CO2-emissiereductie in natte natuur en multifunctionele klimaatbuffers: technische achtergrondmemo.

De landschapsvariabelen zijn gebaseerd op de laatste update van deze databases (veelal 2020/2021). Dit kan betekenen dat er niet altijd een 1-op-1 koppeling is van vogelgriep-uitbraken in een bepaald jaar en de landschapsvariabele in de directe omgeving van het pluimveebedrijf passend bij dat jaar. Maar in veel gevallen blijft b.v. grasland over de jaren heen dezelfde bestemming hebben, net zoals de afstand van een pluimveebedrijf tot waterwegen niet zal veranderen; maar landbouwgewassen (b.v. suikerbieten, aardappelen) worden in rotatie ingezet op de landbouwgrond. Dit kan een bijdrage leveren aan de onzekerheid van het model.

De vogeldichtheden zijn afgeleid uit systematische vogeltellingen (specifiek de winterperiode December – Februari) die zijn uitgevoerd verspreid door heel Nederland in 2013-2015 in het kader van het vogelatlasproject (Sovon, 2018) – een dataset met volledige ruimtelijke dekking op 1 x 1 km schaal. Dit betekent dat er vrijwel geen tijdsgebonden 1-op-1 koppeling is van vogelgriepuitbraken in een bepaald jaar en de wilde vogeldichtheden. Ook is er geen rekening gehouden met mogelijk grote veranderingen in aantallen wilde vogels gedurende de winter, met name bij vogelsoorten die grotendeels buiten Nederland broeden. Dit kan een bijdrage leveren aan de onzekerheid van het model, maar betere data zijn er op dit moment niet. De wilde vogeltellingen werden voor de vogelatlas uitgevoerd in grids van 5 x 5 km. Sovon gebruikte deze tellingen voor het maken van wilde vogeldichtheidskaarten met een gemiddeld aantal wilde vogels per soort per grid, die vervolgens zijn getransformeerd/geïnterpoleerd naar dichtheden in grids van 1 x 1 km. Daarnaast moet worden opgemerkt dat de wilde vogeldichtheden in tegenstelling tot de landschapsvariabelen niet pluimvee-bedrijf-specifiek zijn, d.w.z. voor verschillende pluimveebedrijven in dezelfde gridcel van 1 x 1 km, wordt dezelfde inhoud/waarde van een wilde vogeldichtheid gebruikt. Dit komt omdat de resolutie van de wilde vogel gegevens op de schaal van 1 x 1 km niet toereikend is om het pluimveebedrijf-specifiek te maken. Deze verschillen in schaalniveau kunnen een bijdrage leveren aan de onzekerheid van het model.

**Tabel 1. Overzicht van Landschapsvariabelen gebruikt in de analyse.**

Variabele <sup>#</sup>	N observaties	Gemid	St. Dev.	Min	Q1	Mediaan	Q3	Max
Graan (ha in 1 Km radius)	2,140	13.0	22.8	0.0	0.0	3.7	13.9	211.0
Suikerbiet (ha in 1 km radius)	2,140	8.0	12.6	0.0	0.0	1.9	11.8	84.7
Mais (ha in 1 Km radius)	2,140	34.3	22.7	0.0	17.1	32.9	48.2	146.1
Andere gewassen (ha in 1 Km radius)	2,140	22.5	29.7	0.0	0.4	11.1	30.0	163.7
Grasland (ha in 1 Km radius)	2,140	107.9	61.0	0.5	55.4	104.2	155.1	274.5
Boom- en struikwekerij (ha 1 Km radius)	2,140	0.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.7
Groententeelt (ha in 1 Km radius)	2,140	6.4	12.9	0.0	0.0	0.0	7.1	111.1
Fruit (ha in 1 Km radius)	2,140	0.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	57.4
Fruitbomen (ha in 1 Km radius)	2,140	2.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0.8	117.8
Bloemen & bloembollen (ha in 1 Km radius)	2,140	2.6	7.5	0.0	0.0	0.0	1.9	205.3
Bomen (ha in 1 Km radius)	2,140	1.3	5.1	0.0	0.0	0.0	0.8	81.2
Natuur (ha in 1 Km radius)	2,140	1.7	5.1	0.0	0.0	0.4	1.3	65.6
Natuur_500m (ha in 500 m radius)	2,140	3.1	8.0	0.0	0.0	0.0	1.0	65.6
Afstand tot natuur (m)	2,140	1229	1464	10.0	366	833	1600	16483
Reilly_index* natuur (binnen 500m radius)	2,140	4.8	32.9	0.0	0.0	0.1	0.4	500.1
Natte Natuur (ha in 500m radius) <sup>1</sup>	2,140	0.3	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0
Reilly_index Natte Natuur (binnen 500m radius) <sup>1</sup>	2,140	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
Water_500m (ha in 500 m radius)	2,140	2.5	2.6	0.0	1.2	1.8	2.8	34.9
Afstand tot water (m)	2,140	35.0	39.7	10.0	18.0	25.0	37.0	562.0
Reilly_index water (binnen 500m radius)	2,140	56.8	50.8	0.1	23.7	43.2	73	447.8
Graswegen (ha in 500 m radius)	2,140	1.5	2.2	0.0	0.2	0.8	2.0	28.6
Gras-tuinen (ha in 500 m radius)	2,140	0.9	1.8	0.0	0.0	0.2	1.0	24.9
Gras_landbouw (ha in 500 m radius)	2,140	90.0	72.5	0.0	32.3	80.7	127.9	528.0
Kunstmatige gebouwen (ha in 500 m radius)	2,140	1.9	6.2	0.0	0.0	0.0	0.1	68.3
Bos (met bomen) (ha in 1km radius)	2,140	2.9	6.1	0.0	0.0	0.0	2.7	54.9
Afstand tot bos (m)	2,140	1028	5292	10	275	552	1031	4868
Reilly_index bos (met bomen) (in 1km radius)	2,140	6.2	32.4	0.0	0.3	0.8	1.9	505
Inwoners (aantal per 1000 m <sup>2</sup> )	2,140	1624	1895	10	471	1057	2088	17864

<sup>1</sup> Minder dan 2% van de pluimveebedrijven hadden waarden > 0; daarom werden deze variabelen behandeld als binomiaal. Natte natuur werd gescoord als aanwezig of afwezig binnen een straal van 500m van een pluimveebedrijf.

<sup>#</sup> De keuze voor de grens van 500m radius voor water en natuurvariabelen zijn gebaseerd op de resultaten van het onderzoek van Bouwstra et al. (2017).

\* Reilly-index: combineert dichtheid en oppervlakte.

**Tabel 1 (vervolg). Overzicht van wilde vogel variabelen gebruikt in de analyse.**

Variabele <sup>#</sup>	N observaties	Gemid	St. Dev.	Min	Q1	Mediaan	Q3	Max
Duikeenden (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	46.2	85.4	2.0	11.0	23.0	46.0	1270.5
Duiven (vogels/ km <sup>2</sup> )	2,140	38.4	32.4	1.0	18.0	38.0	38.0	175.5
Fazanten (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	6.4	7.4	0.0	2.0	7.0	7.0	75.5
Ganzen (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	584.0	666.2	1.0	50.0	242.5	1004.5	2741.5
Grondeleenden (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	162.6	222.8	8.0	44.0	75.0	162.0	1784.0
Kraaien (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	57.1	21.7	5.0	47.0	58.0	63.0	200.5
Meeuwen (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	373.1	343.4	5.0	113.5	255.0	555.0	1543.0
Roofvogels/uilen (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	26.4	10.3	5.0	22.0	22.0	28.0	117.5
Steltlopers (vogels/ km <sup>2</sup> )	2,140	61.6	177.7	4.0	9.0	13.0	28.0	1904.0
Andere vogels (vogels/ km <sup>2</sup> )	2,140	112.8	122.8	9.0	43.0	77.0	127.5	951.5
Zangvogels (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	449.6	393.5	12.0	131.0	321.8	665.9	2524.0
Zee-eenden (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	0.6	1.3	0.0	0.0	0.0	1.0	19.0
Zwanen (vogels/km <sup>2</sup> )	2,140	38.0	51.1	1.0	9.0	20.0	47.0	526.5

In tabel A1 (Appendix) is een lijst van de wilde vogelsoorten (en samenstelling van groepen) opgenomen, die gebruikt zijn in de analyse.

De verdeling van de landschaps- en wilde vogelvariabelen voor HPAI-geïnfecteerde en niet-geïnfecteerde pluimveebedrijven zijn grafisch gepresenteerd in het Appendix (Figuur A1 en A2).

Het risico van introductie van HPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven wordt gekwantificeerd met multivariabele statistische modellen ('generalized linear models'), waarbij de associaties van risicofactoren met de introductie van HPAI-virus op pluimveebedrijven in het model gecorrigeerd zijn voor elkaars effect en uitgedrukt in Odds ratio (OR). Een OR > 1 geeft aan dat de variabele geassocieerd is met een verhoogd risico; een OR < 1 geeft aan dat de variabele geassocieerd is met een verlaagd risico; een OR=1 geeft aan dat er geen aanwijzingen zijn dat de variabele een risicofactor is. Als de OR daadwerkelijk statistisch significant is, moet het 95% betrouwbaarheidsinterval van de OR buiten (onder of boven) de 1 vallen. Van verklarende variabelen m.b.t. verschil in risico op introductie van HPAI-virus op pluimveebedrijven, die gemeten zijn op een continue schaal, werd getest of die relatie lineair was door logaritme-transformatie of het toevoegen van splines.

Er werd eerst een univariabele analyse uitgevoerd op de bovengenoemde variabelen: de associatie van één specifieke risicofactor met de introductie van HPAI-virus bij pluimveebedrijven. Variabelen (risicofactoren) met een significantie van  $p < 0.15$  werden meegenomen in de multivariabele analyse. Wanneer variabelen onderling waren gecorreleerd, werd die variabele geselecteerd met het hoogste effect voor opname bij de multivariabele analyse. De multivariabele analyse werd gestart met een model waarin de pluimveebedrijfstypen en de geografische coördinaten X en Y waren opgenomen, en vervolgens werd in een voorwaartse inclusiestap elke keer een landschapsvariabele toegevoegd waarbij werd geselecteerd op de variabele met het hoogste effect. Voor de analyse van de wilde vogel-risicogroepen, is dezelfde methode gebruikt, maar de wilde vogel variabele werd eerst toegevoegd en daarna de landschapsvariabelen.

---

## 3 Resultaten

### 3.1 Univariabele analyse

- Er waren duidelijke verschillen tussen pluimveebedrijfstypen in HPAI-introductierisico; rangschikking van HPAI-introductierisico van hoog naar laag, met de (op)fok/vermeerderingsbedrijven als de standaard: eendenbedrijven > kalkoenbedrijven > legbedrijven > vleeskuikenbedrijven.

De volgende landschapsvariabelen hadden een  $p < 0.15$  in de univariabele analyse m.b.t. HPAI-introductierisico op commerciële pluimveebedrijven:

- o oppervlakte verbouwde suikerbieten;
- o oppervlakte verbouwde mais;
- o oppervlakte grasland;
- o oppervlakte fruitbomen;
- o oppervlakte bomen;
- o oppervlakte kasgroenten;
- o oppervlakte natuur;
- o hectare water tot een afstand van 500m tot pluimveebedrijf;
- o oppervlakte bos;
- o aantal inwoners per km<sup>2</sup>;
- o Reilly index water tot 500m van pluimveebedrijf;
- o Reilly index natuur tot 500m van pluimveebedrijf;
- o Reilly index bos;
- o kortste afstand tot natuurgebied; kortste afstand tot water(wegen), kortste afstand tot bos.

• De volgende wilde vogelvariabelen hadden een  $p < 0.15$  in de univariabele analyse m.b.t. introductierisico HPAI-virus op commerciële pluimveebedrijven:

- o dichtheid duikeenden (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid ganzen (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid grondeleenden (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid kraaien (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid meeuwen (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid roofvogels/uilen (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid steltlopers (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid andere vogels (vogels/km<sup>2</sup>);
- o dichtheid zwanen (vogels/km<sup>2</sup>).

## 3.2 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen en landschapsvariabelen

De multivariabele analyse werd gestart met een model waarin de pluimveebedrijfstypen waren opgenomen en de locatie (X en Y coördinaten). Vervolgens werd in een voorwaartse selectiestap elke keer een landschapsvariabele toegevoegd met de hoogste associatie, net zo lang totdat het model geen nieuwe variabelen toeliet die nog een significante bijdrage ( $p < 0.05$ ) gaven.

In de volgende tabel (Tabel 2) wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het multivariabele model.

**Tabel 2. Overzicht van associatie (uitgedrukt als Odds Ratio (OR)) tussen pluimveebedrijfstype en landschapsvariabelen en het HPAI-introductierisico op commerciële pluimveebedrijven, 2014 – 2022.**

Model variabele <sup>a</sup>	OR <sup>#</sup>	95% CI	p-waarde
<i>Pluimveebedrijfstype</i>			
Fok/opfok/vermeerdering	referentie		
Leg	0.51	0.24 – 1.15	0.09
Vleeskuiken	0.21	0.08 – 0.53	0.001
Kalkoen	6.97	2.10 – 21.72	0.001
Eend	4.75	1.84 – 12.38	0.001
<i>Landschapsvariabelen</i>			
Log (hectaren water tot 500m van pluimveebedrijf + 1)	2.25	1.32 – 3.76	0.002
Kortste afstand pluimveebedrijf tot water	0.98	0.95 – 0.99	0.047
Hectaren grasland in 500m radius (knot 1)	7.98	0.88 – 91.9	0.080
Hectaren grasland in 500m radius (knot 2)	5.91	1.85 – 18.7	0.002
Kortste afstand pluimveebedrijf tot bos	1.00	1.0001 – 1.0007	0.01
Log (aantal inwoners per km <sup>2</sup> )	0.77	0.63 – 0.93	0.007
<i>Geografische variabelen<sup>b</sup></i>			
X (log odds)	-0.00001	-0.00002 – -0.000001	0.02
Y (log odds)	0.000005	-0.000002 – 0.00001	0.13

<sup>a</sup> Model fit: AIC (Akaike Information Criterion) = 467, AUC (Area Under the Curve) = 0.87; AUC interpretatie: indien AUC = 1, worden alle HPAI-besmette pluimveebedrijven in het model door de risicovariabelen verklaard.

<sup>b</sup> Omdat het zeer kleine waarden betreft, worden deze schattingen weergegeven als log odds. The negatieve log odds voor X betekent dat het risico op HPAI-virus introductie afneemt van West naar Oost en de positieve log odds voor Y betekent dat het risico op HPAI-virus introductie toeneemt van Zuid naar Noord.

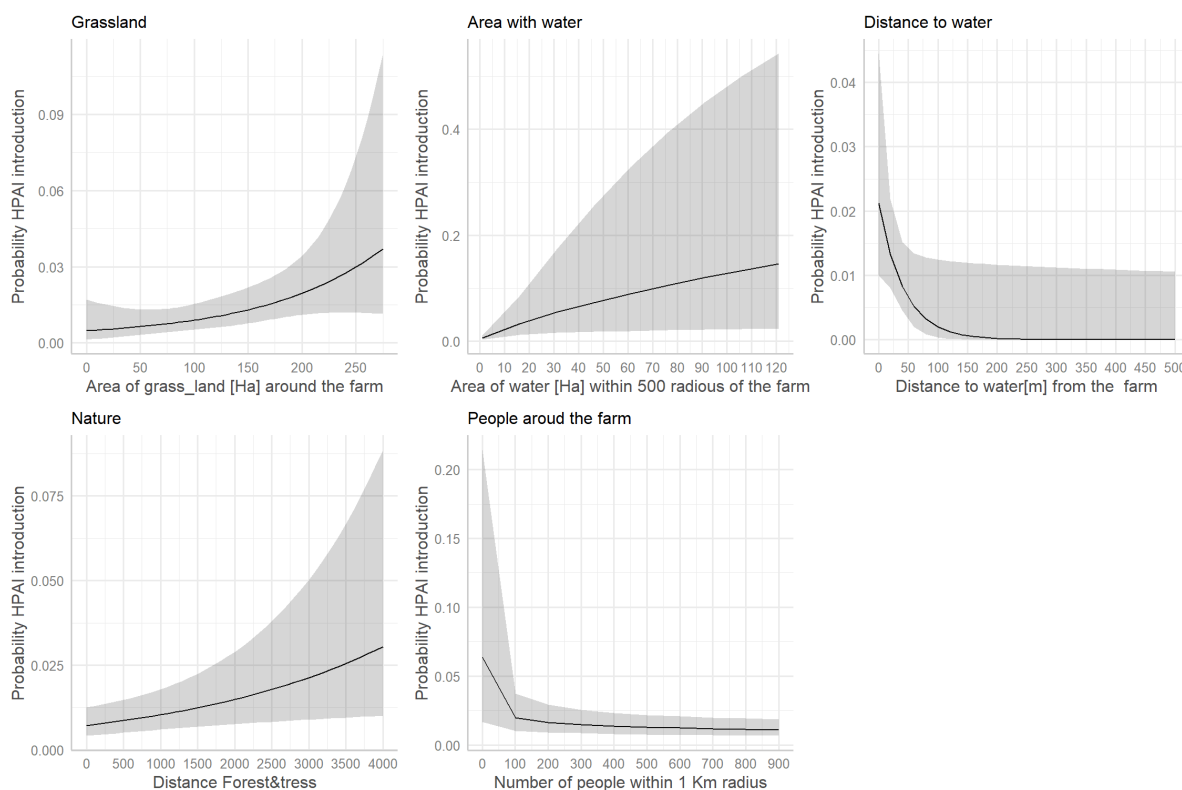
Het multivariabele statistische model laat zien dat pluimveebedrijfstype een significante factor is voor de kans op besmetting (risicofactor). Zo hebben pluimveebedrijven met vleeskuikens b.v. een  $1/0.21 = 5$  keer kleinere kans op besmetting met HPAI-virus in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven (deze groep wordt gebruikt als de referentie in het model waartegen de anderen bedrijfstypen worden afgezet). Eendenbedrijven en kalkoenbedrijven hebben respectievelijk een bijna 5 en 7 keer grotere kans op HPAI-besmetting in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven (de referentie) (Tabel 2), het verschil in HPAI-introductierisico tussen eenden- en kalkoenbedrijven is niet statistisch significant. Mogelijke verklaringen in de verschillen in introductierisico zou zijn verschillen in bioveiligheid tussen verschillende pluimveebedrijfstypen en verschillen in gevoeligheid van verschillende pluimveesoorten om bij blootstelling aan HPAI virus ook besmet te raken.

De resultaten van de LPAI-analyse (Bouwstra et al., 2017) gaven aan dat (op)fok/vermeerderingsbedrijven een duidelijk lager risico hadden op introductie van LPAI-virus in vergelijking met reguliere legbedrijven. In de huidige HPAI-analyse ziet dat er anders uit; er is geen verschil in HPAI-introductierisico tussen de (op)fok/vermeerderingsbedrijven en de legbedrijven. Dit kan komen omdat we in de LPAI-studie aanmerkelijk minder landschapsvariabelen hadden meegenomen en wij in de HPAI-analyse met meer precisie schattingen hebben kunnen doen en sommige confounders hebben kunnen verwijderen die we niet in de LPAI-studie hebben kunnen identificeren.

Naarmate er meer oppervlakte aan water is in de directe omgeving van het pluimveebedrijf en de afstand van het dichtstbijzijnde aanwezige water tot het pluimveebedrijf korter is (met name 0 – 50 meter), neemt het HPAI-introductierisico toe; deze associatie heeft zeer waarschijnlijk te maken met het feit dat water(wegen) als sloten en vaarten aantrekkelijk zijn voor watervogels als eenden, ganzen en zwanen, die bekende vogelgriepvirus dragers zijn. Naarmate het aantal hectaren grasland in de directe omgeving van het pluimveebedrijf toeneemt, neemt ook het HPAI-introductierisico toe; deze associatie heeft zeer waarschijnlijk te maken met het feit dat grasland aantrekkelijk is als foerageergebied voor eenden, ganzen en zwanen. Naarmate de afstand van het pluimveebedrijf tot bos korter is, neemt het HPAI-introductierisico af; deze associatie heeft zeer waarschijnlijk te maken met de hypothese dat nabijheid van bos in tegenstelling tot open (gras)weidegebied minder aantrekkelijk is als habitat is voor wilde vogels, uit de risicogroep (met name watervogels).

Als het aantal inwoners per vierkante kilometer toeneemt in de buurt van een pluimveehouderij, neemt het HPAI-introductierisico af; deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met de mate van urbanisatie c.q. de lagere bevolkingsdichtheid op het platteland. De associatie met geografische coördinaten geeft aan dat het HPAI-introductierisico van Oost naar West en van Zuid naar Noord in Nederland toeneemt. Deze associatie heeft waarschijnlijk te maken met de frequentere aanwezigheid van watergebieden in het Westen en Noorden van Nederland.

De associatie van landschapsvariabelen met het HPAI-introductierisico zijn grafisch weergegeven in Figuur 2.



**Figuur 2. Kans op HPAI-introductie op pluimveebedrijven in afhankelijkheid van landschapsvariabelen. Schattingen van het effect voor elke landschapsvariabele is gedaan door het veranderen van de waarde van deze specifieke variabele terwijl de waarde van de andere variabelen in het model constant zijn gehouden (Tabel 2).**



---

Om het significant lagere HPAI-introductierisico voor vleeskuikenbedrijven te bevestigen, hebben we de analyse ook uitgevoerd met alleen de gegevens van het vogelgriepseizoen 2021-2022, waarin verschillende HPAI-introducties bij vleeskuikenbedrijven werden waargenomen (Figuur 1). De resultaten van die analyse (data niet getoond) kwamen overeen met die analyses waarin wij de gegevens van de gehele onderzoeksperiode hebben gebruikt (Tabel 2) en bevestigt het consistent lagere HPAI-introductierisico voor vleeskuikenbedrijven.

### 3.3 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen en wilde vogelsoorten dichtheid

De associatie tussen wilde vogeldichtheid (elke vogelsoortgroep afzonderlijk in een model met pluimveebedrijfstype) en het risico op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven wordt weergegeven in Tabel 3. Daarin wordt het geschatte risico (uitgedrukt als Odds Ratio) weergegeven van groepen wilde vogelsoorten die significant geassocieerd zijn met de introductie van HPAI op pluimveebedrijven, gecorrigeerd voor pluimveebedrijfstypen en X-Y coördinaten. De resultaten van de pluimveebedrijfstypen en X-Y coördinaten (niet getoond) waren vergelijkbaar met de resultaten zoals in Tabel 2 en Tabel 4 getoond.

**N.B.** In deze modellen was er steeds maar één wilde vogelsoortgroep die in het model naast pluimveebedrijfs-typen en X-Y coördinaten aanwezig kon zijn. Er was een sterke correlatie tussen de verschillende wilde vogelsoortgroepen (die worden getoond in Tabel 3), waardoor er steeds maar één wilde vogelsoortgroep in het model het sterkst was. De best fittende modellen (modellen waarbij de gevonden variatie in HPAI-besmette pluimveebedrijven het best kan worden verklaard door de verklarende variabelen (risicofactoren) in het model) waren die waarbij de wilde vogeldichtheid werd gebruikt van of de grondeleenden, de roofvogels & uilen of de andere vogels.

**Tabel 3. Overzicht van associatie (uitgedrukt als Odds Ratio (OR)) tussen wilde vogelsoorten dichtheid en het HPAI-introductierisico op commerciële pluimveebedrijven, 2014 – 2022. De Odd ratio's zijn gecorrigeerd voor geografische locatie en pluimveebedrijfstype (resultaten niet getoond).**

Wilde vogel dichtheid (vogels/km <sup>2</sup> )	Log odds <sup>a</sup>	OR	95%CI	OR <sup>c</sup>	AIC <sup>b</sup>
Log (grondeleenden/km <sup>2</sup> )	0.574***	1.78	1.34 - 2.34	11.9	503.71
Log (ganzen/km <sup>2</sup> )	0.165**	1.18	1.00 - 1.39	2.47	516.72
Log (zwanen/km <sup>2</sup> )	0.314***	1.37	1.08 - 1.73	2.5	513.94
Log (duikeenden/km <sup>2</sup> )	0.285***	1.33	1.07 - 1.65	2.44	514.04
Log (roofvogels en uilen/km <sup>2</sup> )	1.352***	3.87	1.97 - 7.57	65	505.33
Log (andere vogels/km <sup>2</sup> )	0.758***	2.13	1.53 - 2.97	26	494.07
Log (steltlopers/km <sup>2</sup> )	0.391***	1.48	1.18 - 1.85	2.7	509.30

<sup>a</sup> \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

<sup>b</sup> Akaike Information Criterium. Deze waarde wordt gepresenteerd als een indicatie voor de fit van de verschillende modellen gefit voor elke aparte wilde vogelsoort (lage AIC betekent betere fit). De best fittende modellen waren die waarbij de wilde vogeldichtheid werd gebruikt van de grondeleenden, roofvogels en uilen en andere vogels.

<sup>c</sup> Interpretatie op Mediaan populatieniveau: Log Odds \* mediaan dichtheid vogelsoort (vogels/km<sup>2</sup>) (zie Tabel 1)

### 3.4 Multivariabele analyse – pluimveebedrijfstypen, landschapsvariabelen en wilde vogelsoorten dichtheid

In dit model zijn de pluimveebedrijfstypen, landschapsvariabelen en wilde vogeldichtheid bij elkaar gebracht. De dichtheden van Grondeleenden, Ganzen, Zwanen en Duikeenden hebben een grote onderlinge correlatie ( $r > 0,7$ ) (zwart-wit gezegd: het maakt bijna niet uit welke wilde vogelvariabele je neemt in het model, maar als je er een kiest, komt een andere variabele er niet meer in omdat er vrijwel geen verschillen zijn in sterkte van de associatie).

Deze correlatie beïnvloedt de statistische significantie als verschillende soortgroepen vogels gecombineerd worden gemodelleerd in een model (collineariteit). Wij hebben verschillende opties onderzocht, waaronder een combinatie van alle soortgroepen in een overkoepelende dichtheid. Maar deze variabele verbeterde de fit van het model niet. Het beste model is een model waarin naast landschapsvariabelen, Grondeleenden als parameter aanwezig zijn. De resultaten van deze analyse worden gepresenteerd in Tabel 4.

**Tabel 4. Overzicht van associatie (uitgedrukt als Odds Ratio (OR)) tussen wilde vogel dichtheid, landschapsvariabelen en pluimveebedrijfstypen en het HPAI-introductierisico op commerciële pluimveebedrijven, 2014 – 2022.**

Model variabele <sup>a</sup>	OR <sup>#</sup>	95% CI	p-waarde
<i>Wild vogel groep</i>			
Log (Grondeleenden/km <sup>2</sup> )	1.38	1.02 – 1.90	0.036
<i>Pluimveebedrijfstype</i>			
Fok/opfok/vermeerdering	referentie		
Leg	0.6	0.3 – 1.4	0.2375
Vleeskuiken	0.20	0.08 – 0.51	0.0006
Kalkoen	5.5	1.6 – 17.0	0.004
Eend	6.2	2.4 – 16.0	0.0001
<i>Landschapsvariabelen</i>			
Log (hectaren water tot 500m van pluimveebedrijf + 1)	1.9	1.1 – 3.2	0.018
Kortste afstand pluimveebedrijf tot water	0.97	0.94 – 0.99	0.002
Log (Reilly index bos + 1)	0.64	0.35 – 0.99	0.045
<i>Geografische variabelen<sup>b</sup></i>			
X (log odds)	-0.00001	-0.00002 – -0.00001	0.0103
Y (log odds)	0.00001	0.00001 – 0.00002	0.0003

<sup>a</sup> Model fit: AIC (Akaike Information Criterion) = 485.9, AUC (Area Under the Curve) = 0.848

<sup>b</sup> Omdat het zeer kleine waarden betreft, worden deze schattingen weergegeven als log odds. The negatieve log odds voor X betekent dat het risico op HPAI-virus introductie vermindert van West naar Oost en de positieve log odds voor Y betekent dat het risico op HPAI-virus introductie vergroot van Zuid naar Noord.

<sup>#</sup> Interpretatie: b.v. pluimveebedrijven met vleeskuikens hebben een  $1/0.2 = 5$  keer kleinere kans op besmetting met HPAI-virus in vergelijking met fok/opfok/vermeerderingsbedrijven (de referentie); kalkoenbedrijven hebben een ruim 5 keer grotere kans op besmetting met HPAI-virus in vergelijking met fok/opfok/vermeerderingsbedrijven (de referentie). Grondeleenden-dichtheid: voor iedere Log toename in het aantal vogels/km<sup>2</sup>, neemt het risico op introductie 1.4 keer toe.

---

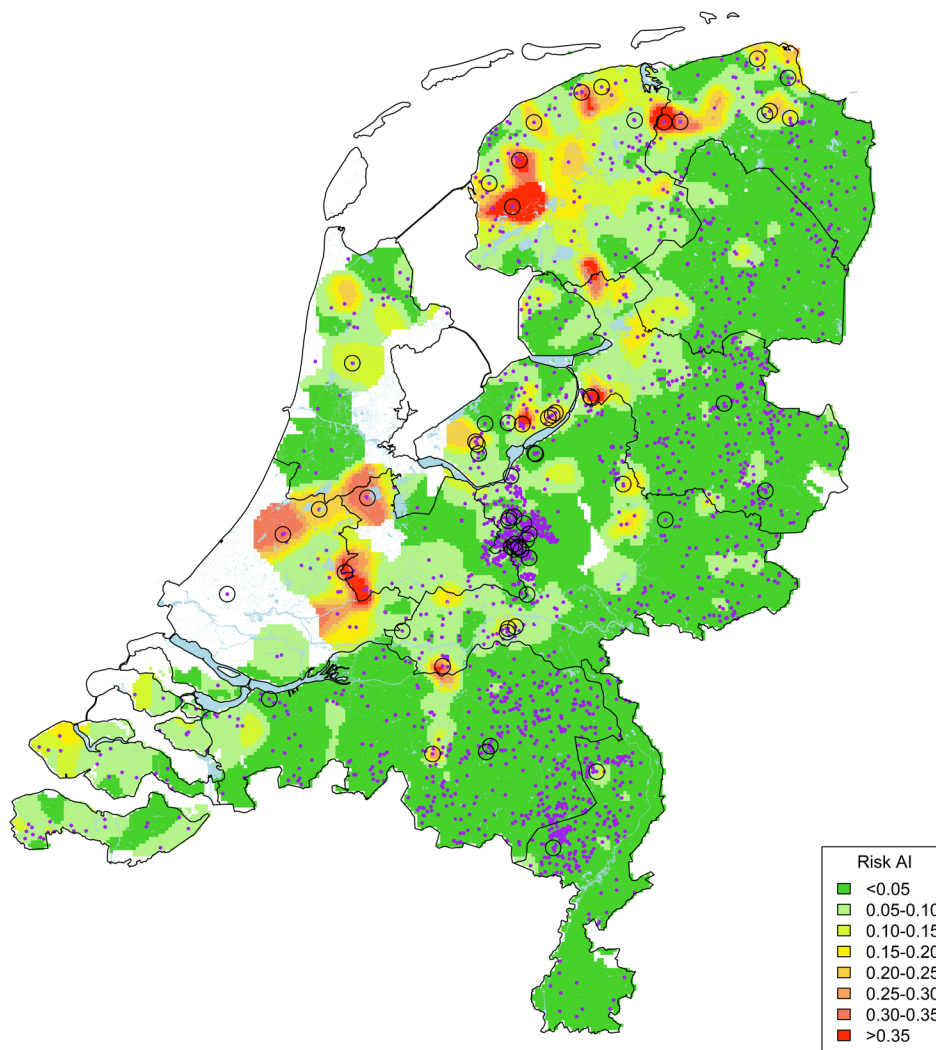
**N.B.**

Het model met de pluimveebedrijfstypen en landschapsvariabelen (dus zonder de dichtheid aan Grondeleenden) heeft de beste fit (AIC: 467) d.w.z. de uitbraakgegevens worden het best verklaard door de pluimveebedrijfstypen, X-Y coördinaten en landschapsvariabelen (zie Tabel 2).

Een belangrijke reden daarvoor is dat de landschapsvariabelen pluimveebedrijf-specifiek zijn, en de wilde vogelvariabelen niet. Als je aan het model met de landschapsvariabelen een of meerdere wilde vogelvariabelen geforceerd toevoegt (en dan is de dichtheid aan Grondeleenden de sterkste wilde vogelvariabele), dan wordt de fit van het model slechter en verdwijnt de variabele grasoppervlakte. In een model met landschapsvariabelen zijn de wilde vogelvariabelen niet sterk genoeg om landschapsvariabelen uit het model te drukken.

### 3.5 Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven

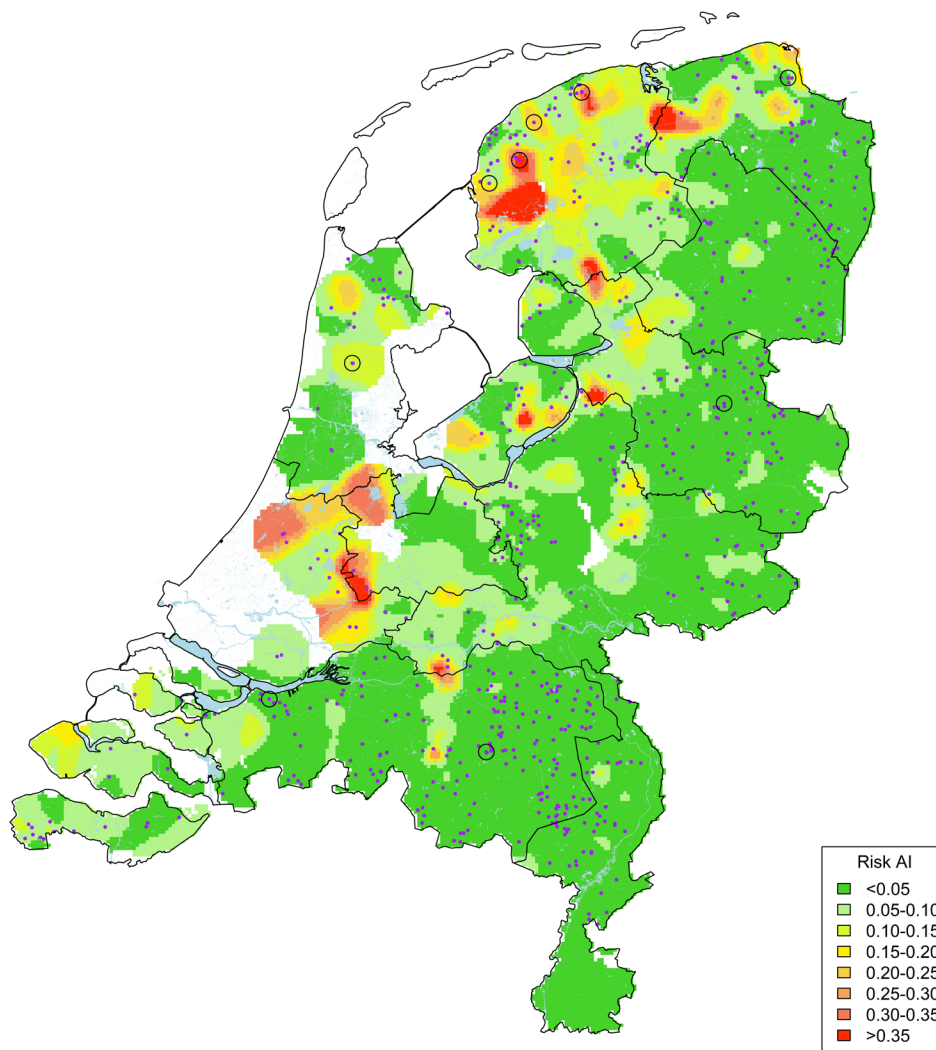
In figuur 3 wordt de kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland visueel weergegeven (periode 2014 – 2022), op basis van het landschapsvariabelen model (Tabel 2).



**Figuur 3. Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022). Kleurschakering geeft de grootte van de kans weer in gebieden in Nederland; witgekleurde regio's zijn gebieden waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Locaties van HPAI-besmette pluimveebedrijven zijn met een zwarte cirkel aangegeven; locaties van HPAI-onbesmette pluimveebedrijven zijn aangegeven met een paarse stip.**

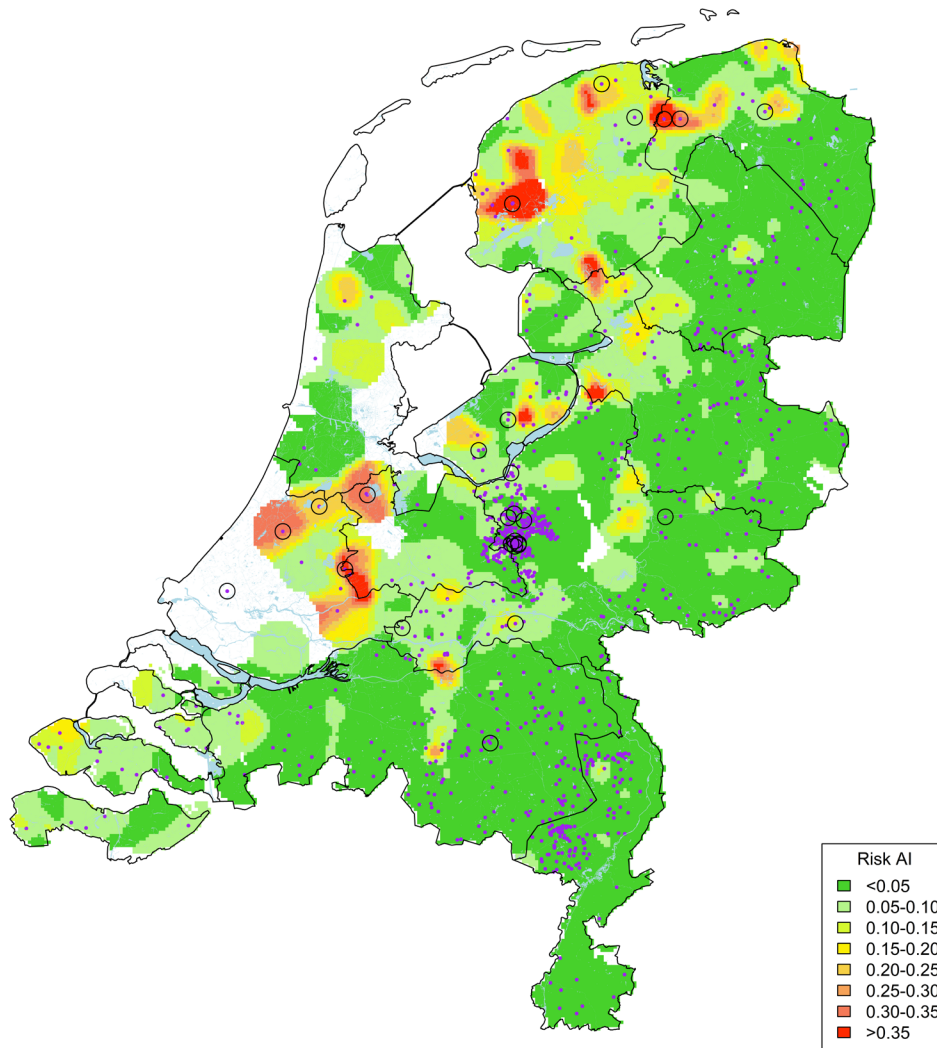
De kansen op introductie worden gegeven op het niveau van geografische regio's. Deze regionale kansen weerspiegelen het gemiddelde van de introductiekansen geschat voor de individuele pluimveebedrijven in een straal van 10 km van elkaar. Een minimum van twee pluimveebedrijven was nodig binnen een dergelijke straal om een schatting te kunnen maken. Witte geografische regio's in Figuur 3 zijn regio's waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Daarom kon de kans op introductie voor deze regio's niet worden geëxtrapoleerd van pluimveebedrijf-kans naar regio-kans.

In figuur 4 wordt de kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland visueel weergegeven zoals in Figuur 3 (periode 2014 – 2022), maar nu zijn alleen de vleeskuikenbedrijven (HPAI-besmet en HPAI-onbesmet) weergegeven.



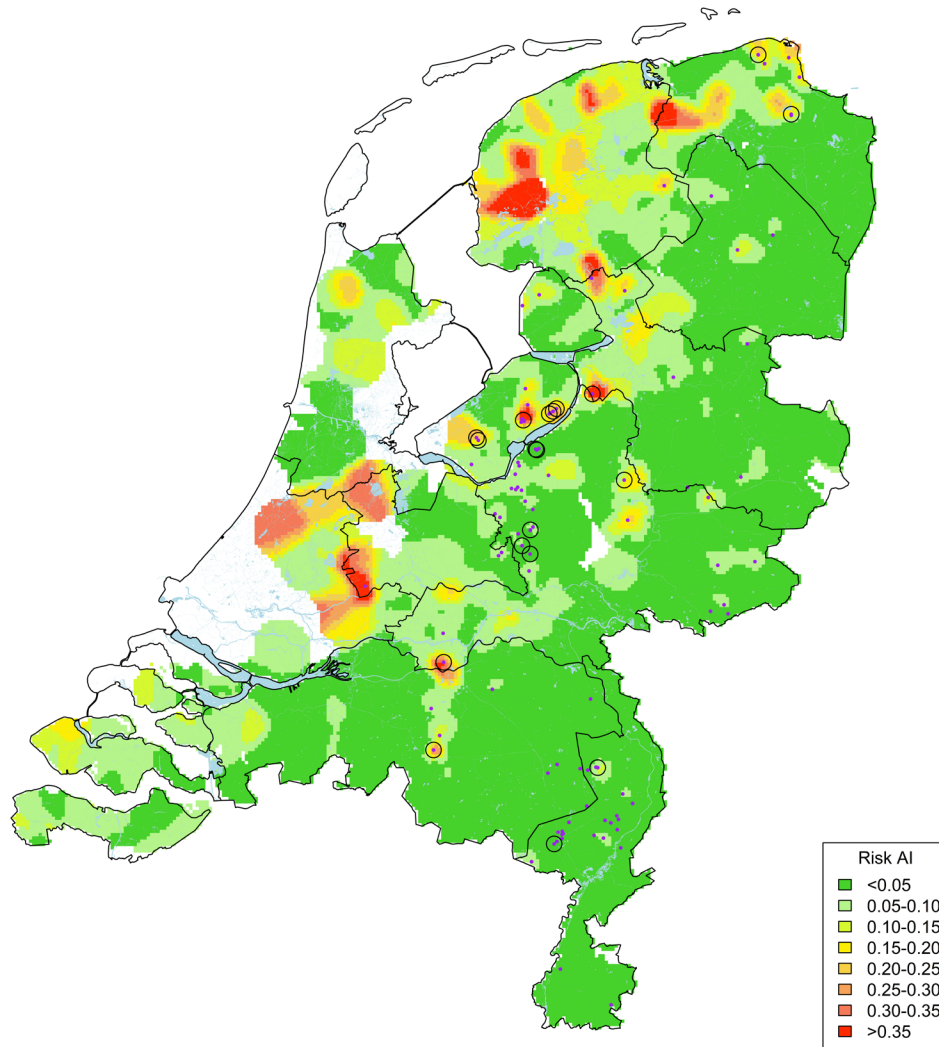
**Figuur 4. HPAI-introductiekans in relatie tot vleeskuikenbedrijven. Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022). Kleurschakering geeft de grootte van de kans weer in gebieden in Nederland; wit-gekleurde regio's zijn gebieden waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Locaties van HPAI-besmette vleeskuikenbedrijven zijn met een zwarte cirkel aangegeven; locaties van HPAI-onbesmette vleeskuikenbedrijven zijn aangegeven met een paarse stip.**

In figuur 5 wordt de kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland visueel weergegeven zoals in Figuur 3 (periode 2014 – 2022), maar nu zijn alleen de legbedrijven (HPAI-besmet en HPAI-onbesmet) weergegeven.



**Figuur 5. HPAI-introductiekans in relatie tot legbedrijven. Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022). Kleurschakering geeft de grootte van de kans weer in gebieden in Nederland; wit-gekleurde regio's zijn gebieden waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Locaties van HPAI-besmette legbedrijven zijn met een zwarte cirkel aangegeven; locaties van HPAI-onbesmette legbedrijven zijn aangegeven met een paarse stip.**

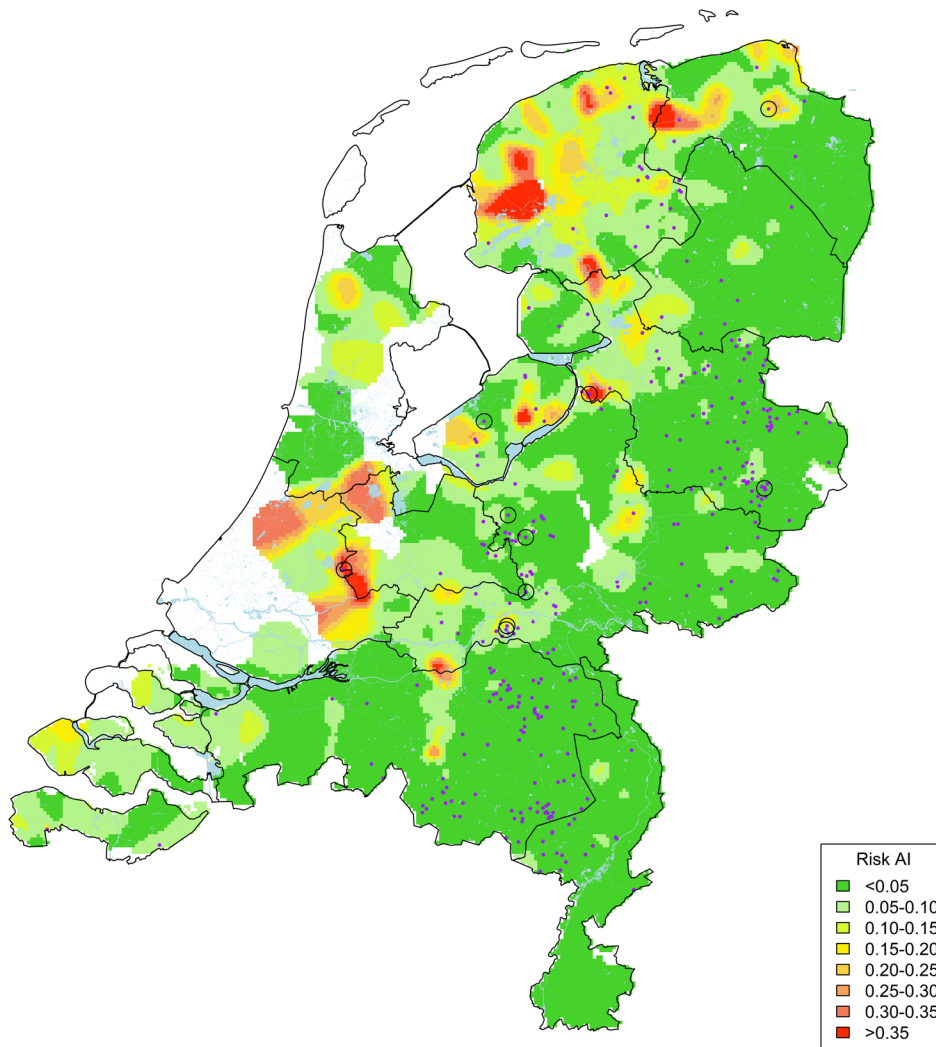
In figuur 6 wordt de kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland visueel weergegeven (periode 2014 – 2022), maar nu zijn alleen de eenden- en kalkoenbedrijven (HPAI-besmet en HPAI-onbesmet) weergegeven.



**Figuur 6. HPAI-introductiekans in relatie tot eenden- en kalkoenbedrijven. Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022). Kleurschakering geeft de grootte van de kans weer in gebieden in Nederland; wit-gekleurde regio's zijn gebieden waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Locaties van HPAI-besmette eenden- en kalkoenbedrijven zijn met een zwarte cirkel aangegeven; locaties van HPAI-onbesmette eenden- en kalkoenbedrijven zijn aangegeven met een paarse stip.**



In figuur 7 wordt de kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022) visueel weergegeven, maar nu zijn alleen de (op)fok/vermeerderingsbedrijven (HPAI-besmet en HPAI-onbesmet) weergegeven.



**Figuur 7. HPAI-introductiekans in relatie tot vermeerderingsbedrijven. Kans op HPAI-introductie op commerciële pluimveebedrijven in Nederland (periode 2014 – 2022). Kleurschakering geeft de grootte van de kans weer in gebieden in Nederland; wit-gekleurde regio's zijn gebieden waar geen pluimveebedrijven zijn of met minder dan twee pluimveebedrijven binnen een straal van 10 km. Locaties van HPAI-besmette (op)fok/vermeerderingsbedrijven zijn met een zwarte cirkel aangegeven; locaties van HPAI-onbesmette (op)fok/vermeerderingsbedrijven zijn aangegeven met een paarse stip.**

---

### 3.6 Exploreren van de verschillen tussen HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in de provincie Zeeland en de HPAI-besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland

Een opmerkelijke observatie is de afwezigheid van introducties van HPAI-virus op pluimveebedrijven gesitueerd in de provincie Zeeland gedurende al die afgelopen jaren, ondanks de grote aantallen migrerende watervogels die deze regio ook aan doen.

Wij onderzochten (univariabel) of er verschillen waren in het gebruik van het land rondom pluimveebedrijven en de dichtheid aan wilde vogels van 70 pluimveebedrijven gesitueerd in Zeeland (geen HPAI-introducties) ten opzichte van de 71 HPAI-besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland in de studieperiode 2014-2022. Grafische vergelijking van de verdeling van alle variabelen wordt gepresenteerd in de Bijlagen voor landschapsvariabelen (Figuur A3) en voor de wilde vogeldichtheid (Figuur A4).

Daaruit komt naar voren (Figuur A3) dat er duidelijk meer landbouwgewassen aanwezig waren in de directe omgeving van pluimveehouderijen in Zeeland. De gemiddelde oppervlakten aan graan, suikerbiet, overige landbouwgewassen, groenten, bomen en fruitbomen was significant groter ( $p < 0.05$ ) rond Zeeuwse pluimveehouderijen in vergelijking met de besmette pluimveehouderijen in de rest van Nederland.

Deze variabelen waren negatief geassocieerd met de kans op HPAI-introductie in de univariabele analyse.

In contrast daarmee was de Reilly-index van water in een radius van 500m rondom het pluimveebedrijf en de oppervlakte grasland (beiden positief gecorreleerd met de kans op HPAI-virus introductie) hoger bij HPAI-besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland in vergelijking met de HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in Zeeland.

Er werden ook enkele verschillen gezien in dichtheid van groepen wilde vogelsoorten (Figuur A4), met hogere dichtheden aan zwanen, roofvogels en uilen, en duikeenden bij HPAI-besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland in vergelijking met HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in Zeeland, en hogere dichtheden aan kraaien, duiven en fazanten in Zeeland dat past bij een meer gemengd akkerbouw/fruitteelt/groente gebied.



---

## 4 Discussiepunten

- In het eerder uitgevoerde LPAI-onderzoek (Bouwstra et al., 2017) zijn een zeer beperkt aantal landschapsvariabelen en wilde vogel-gerelateerde variabelen gebruikt, te weten afstand van waterwegen en natuurgebied (met een afbreekwaarde van > 5 watervogels per hectare natuurgebied) tot pluimveebedrijven. In de huidige analyse zijn een groot aantal andere landschapsvariabelen gebruikt, met name t.a.v. het gebruik van de grond in de directe omgeving rondom pluimveebedrijven voor landbouwactiviteiten. Dit is gedaan omdat er op basis van observaties uit bezoeken aan HPAI-besmette pluimveebedrijven in het vogelgriepseizoen 2021-2022 er een hypothese is geboren dat de directe omgeving rondom besmette pluimveebedrijven waarschijnlijk van groot belang is. De directe omgeving van pluimveebedrijven moet op de een of andere manier aantrekkelijk zijn voor soorten wilde watervogels, en een belangrijke aantrekkingskracht vormt de mogelijkheid tot foerageren. Aanwezigheid van wilde watervogels in de directe omgeving van pluimveestallen vergroot de kans op contaminatie van de directe omgeving van de pluimveestallen met uitwerpselen van wilde vogels die HPAI-besmet kunnen zijn, en daarmee de kans op introductie van HPAI-virus naar binnen in de stal.
- De analyse bevestigt dat eenden- en kalkoenbedrijven een hoger risico lopen op HPAI-introductie in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die waargenomen voor LPAI en kunnen wijzen op verschillen in bioveiligheid of gevoeligheid voor het virus, waarbij kalkoenen en eenden vatbaarder zijn voor besmetting dan kippen. Net als bij LPAI-introductie lijken vleeskuikenbedrijven een lager risico op HPAI-introductie te hebben in vergelijking met (op)fok/vermeerderingsbedrijven. Dit zou een reflectie kunnen zijn van verschillen in bioveiligheid (b.v. mogelijk minder contacten/bewegingen van materialen). Daarnaast zou een deels verminderde expositie gedurende een deel van de productieperiode vanuit de buitenomgeving via ventilatieopeningen misschien een rol kunnen spelen: de ventilatiebehoefte is afhankelijk van het gewicht van de kuikens, en neemt toe naarmate de kuikens ouder en dus zwaarder worden; dat betekent dat bij de start van de productieronde de ventilatieopeningen nog maar een klein deel geopend hoeven te worden voor aanvoer van benodigde verse lucht, en steeds verder open moeten naarmate kuikens een groter gewicht krijgen. Er wordt een minimale ventilatie aangehouden voor vleeskuikens van 0,7 – 1,5 m<sup>3</sup>/kg levend gewicht/uur.
- Het recent gepubliceerde onderzoek van Schreuder et al. (2022) is een voorspelmodel (in tegenstelling tot ons onderzoek, dat gericht is op het verklaren van variatie tussen besmette en niet-besmette pluimveebedrijven), dat een sterke focus heeft gehad op welke wilde vogelsoorten ruimtelijk geassocieerd kunnen zijn met HPAI-besmetting van pluimveebedrijven. Wij hebben een veel uitgebreider pakket aan landschapsvariabelen gebruikt dan de studie van Schreuder et al. (2022) en konden gebruik maken van aanzienlijk meer HPAI-besmette pluimveebedrijven. Verder kan worden opgemerkt dat de selectie van controle bedrijven (in het onderzoek van Schreuder et al. werd een case-control ontwerp toegepast) niet een volledig geografische dekking van Nederland had. In het risico-voorspelmodel van Schreuder et al. werd de provincie Zeeland als hoog-risico gebied aangewezen op basis van de dichtheid van sommige soorten wilde (water)vogels. Onze analyse laat zien dat agrarische activiteiten rond pluimveehouderijen in Zeeland geassocieerd zijn met een verlaging van het HPAI-introductierisico op pluimveebedrijven in deze regio en dat deze regio geen hoog-risicogebied is (in Zeeland zijn ook geen pluimveebedrijven HPAI-besmet geraakt in onze studieperiode van 2014- juni 2022).
- De duidelijke verschillen die worden gevonden in aanwezigheid van bepaalde landschapsvariabelen tussen HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in de provincie Zeeland en de besmette pluimveebedrijven in de rest van Nederland hebben waarschijnlijk te maken met verschillen in aanwezige grondsoorten: op de (voornamelijk aanwezige) kleigronden in Zeeland kunnen een grote variatie aan landbouwgewassen worden verbouwd (vruchtbare grond, en het is zonde om daar gras op te laten groeien), terwijl er in de directe omgeving van HPAI-besmette pluimveebedrijven buiten Zeeland een significant grotere oppervlakte aan grasland aanwezig is; grasland is aantrekkelijk voor wilde watervogels om te foerageren.



---

## 5 Conclusies

- Het model dat het beste fit met de waarnemingen van HPAI-besmette pluimveebedrijven is een model dat opgebouwd is uit pluimveebedrijfstypen en landschapsvariabelen. Grotere oppervlakte water in de directe omgeving van het pluimveebedrijf, kortere afstand van pluimveebedrijf tot water(wegen), grotere oppervlakte aan grasland in de directe omgeving van het pluimveebedrijf, langere afstand tot bos is geassocieerd met een toenemend risico op HPAI-introductie op pluimveebedrijven. Deze variabelen zijn pluimveebedrijf-specifiek (in vergelijking met de wilde vogelvariabelen die gebied-specifiek zijn).
- Het risico op HPAI-introductie op pluimveebedrijven neemt toe van Oost naar West en van Zuid naar Noord in Nederland.
- Van de wilde vogelsoortendichtheid in de buurt van pluimveebedrijven is die van grondeleenden het sterkst geassocieerd met het vergroten van het HPAI-introductierisico op commerciële pluimveebedrijven; maar er is een grote correlatie tussen de dichtheid van grondeleenden en die van de dichtheid van ganzen, zwanen en duikeenden.
- De gemiddelde oppervlakte aan landbouwgewassen (op vruchtbare kleigronden) was significant groter rond Zeeuwse pluimveehouderijen (geen enkele HPAI-besmet in onze onderzoeksperiode van 2014 – juni 2022) in vergelijking met de HPAI-besmette pluimveehouderijen in de rest van Nederland. In de directe omgeving rond besmette pluimveebedrijven elders in Nederland zien we een associatie met grotere oppervlakten aan grasland. Grasland is aantrekkelijk voor wilde watervogels om te foerageren.



---

## 6 Aanbevelingen

Het gebrek aan resolutie van de wilde vogelsoorten dichtheid (niet pluimveebedrijf-specifiek, wel gebied-specifiek) in de analyse doet vermoeden dat het zinvol zou zijn voor de toekomst om observationeel (case-control) onderzoek uit te voeren waarin wilde vogeltellingen worden uitgevoerd in de directe omgeving van besmette pluimveebedrijven (kort na detectie van de besmette pluimveebedrijven = cases) en bij niet-besmette pluimveebedrijven (control).





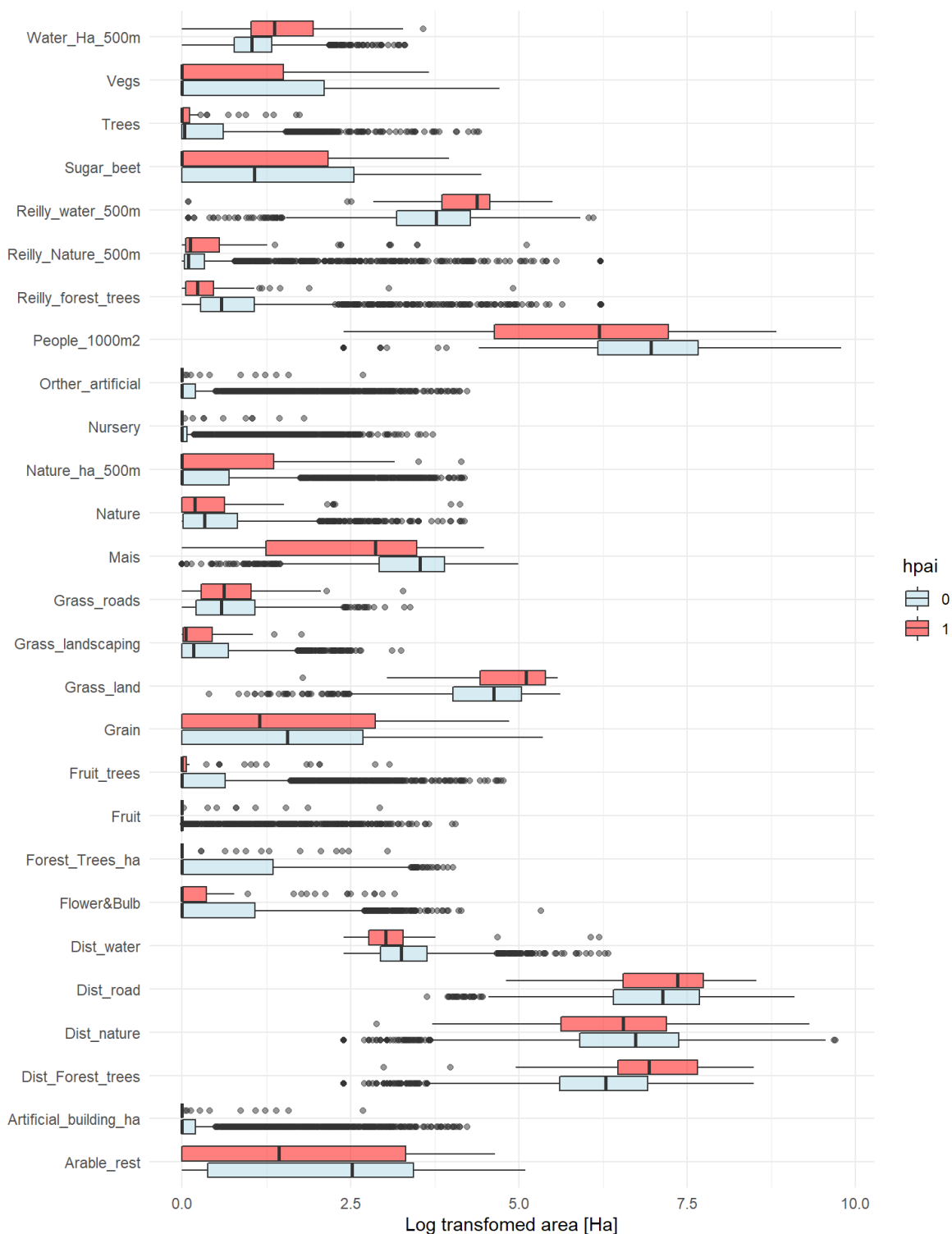
---

# Literatuur

- Bouwstra R, Gonzales J, de Wit S, Stahl J, Fouchier R, Elbers A. Spatial-environmental risk analysis of introduction of low pathogenic avian influenza virus infections on poultry farms in the Netherlands, 2007-2013. *Emerg. Infect. Dis.* 2017;23(9):1510-1516. doi: 10.3201/eid2309.170276.
- Gonzales, J.L., Stegeman, J.A., de Wit, J.J., Koch, G., Elbers, A.R.W. Differences in risk of introduction of a LPAIV infection between poultry production sectors and outdoor/indoor farming systems in the Netherlands. *Influenza and other respiratory Diseases* 2013; 7: 6-10. <https://doi.org/10.1111/j.1750-2659.2012.00348.x>.
- Klimaatplatform Pluimveehouderij. Klimaatrichtlijnen vleeskuikens. Animal Sciences Group, WUR. Versie februari 2015.
- Schreuder, J., de Knecht, H.J., Velkers, F.C., Elbers, A.R.W., Stahl, J., Slaterus, R., Stegeman, J.A., de Boer, W.F. Wild bird densities and landscape variables predict spatial patterns in HPAI outbreak risk across the Netherlands. *Pathogens* 2022; 11, 549. <https://doi.org/10.3390/pathogens11050549>
- Sovon Vogelonderzoek Nederland. Vogelatlas van Nederland. 1ste editie. Kosmos Publishers, Utrecht; Antwerpen, België. 2018; 640 pp.

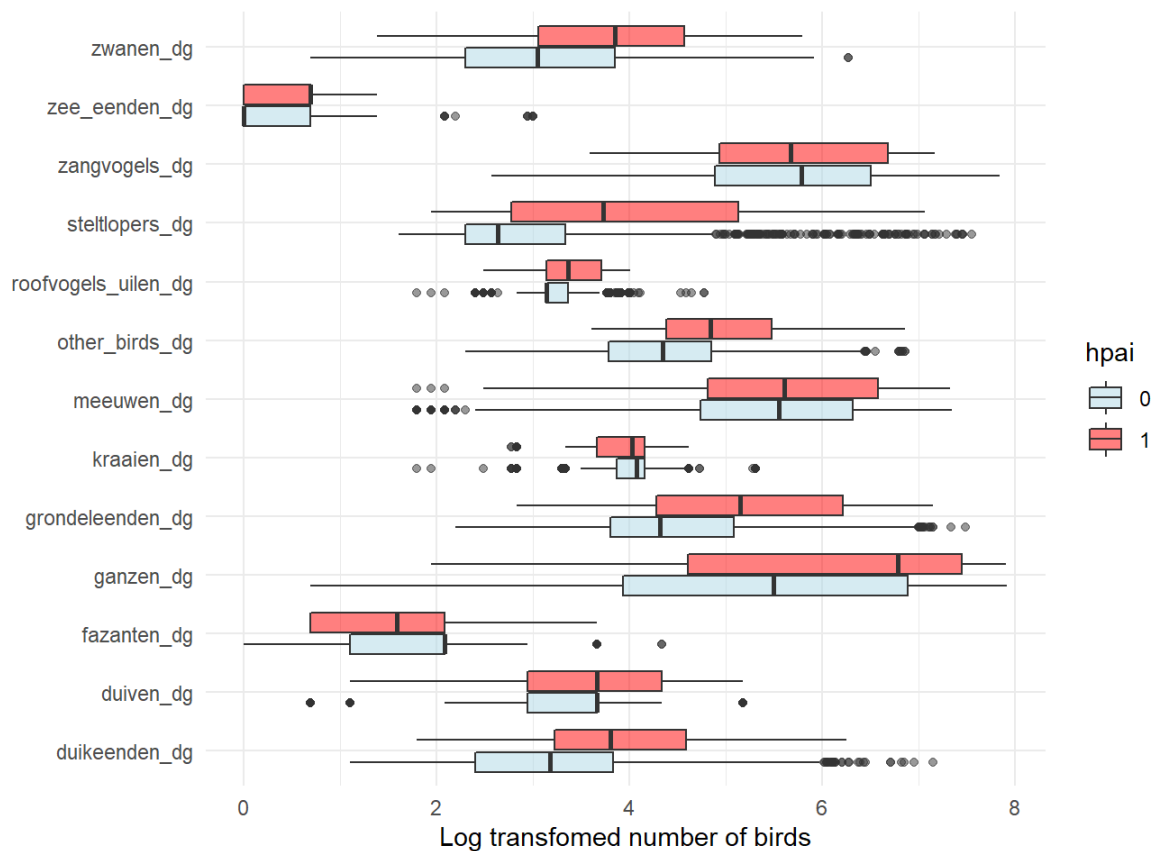


# Bijlage A1



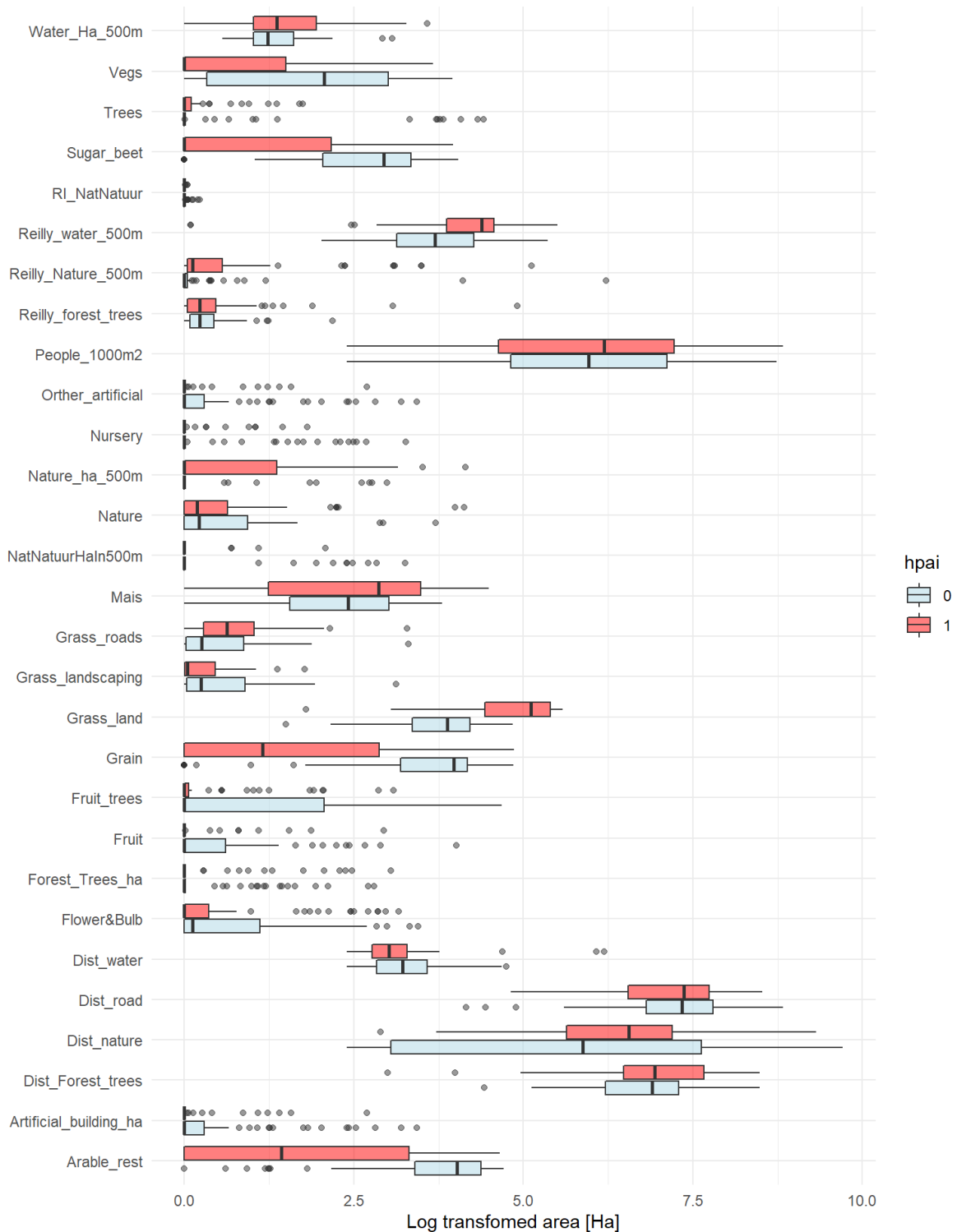
Figuur A1. Boxplot verdeling van de landschapvariabelen. Uitleg bij boxplotverdeling: de box omvat 25 – 75 percentiel; lijn in box = mediaan; hoge en lage whisker = omvat totaal aan typische waarden van de verdeling; • = outlier; in de kleur rood de verdeling van de landschapsvariabele rond HPAI-besmette pluimveebedrijven; in de kleur licht blauw de verdeling van de landschapsvariabele rond HPAI-onbesmette pluimveebedrijven.

# Bijlage A2



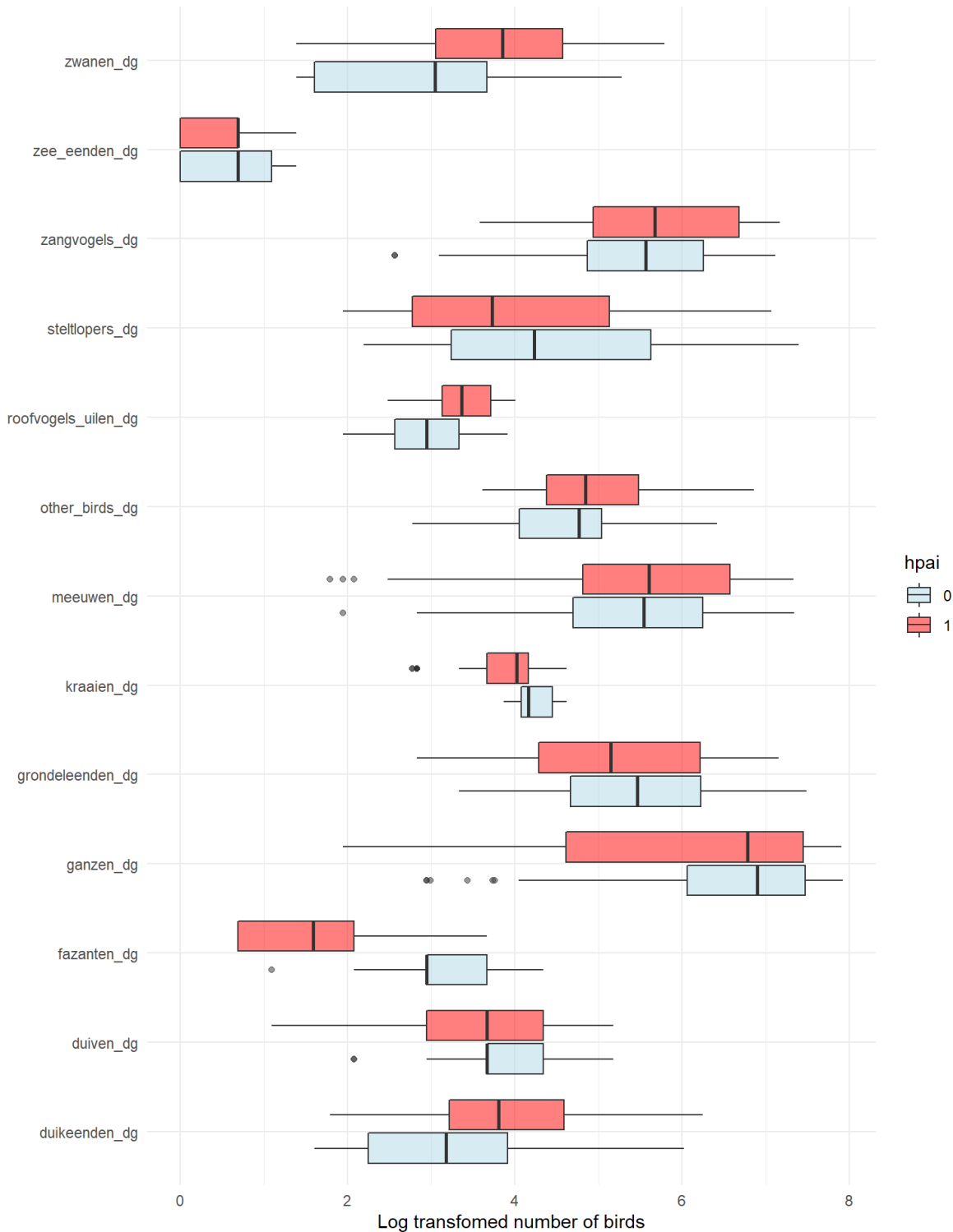
Figuur A2. Boxplot verdeling van de wilde vogelvariabelen. Uitleg bij boxplotverdeling: de box omvat 25 – 75 percentiel; lijn in box = mediaan; hoge en lage wisser = omvat totaal aan typische waarden van de verdeling; • = outlier; in de kleur rood de verdeling van de landschapsvariabele rond HPAI-besmette pluimveebedrijven; in de kleur licht blauw de verdeling van de landschapsvariabele rond HPAI-onbesmette pluimveebedrijven.

# Bijlage A3



Figuur A3. Log-getransformeerde boxplot-verdelingen van landschapsvariabelen bij HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in Zeeland (n = 70; blauwe kleur), en bij alle HPAI-besmette pluimveehouderijen in de rest van Nederland in de periode 2014-2022 (n = 71; rode kleur).

# Bijlage A4



Figuur A4. Log-getransformeerde boxplot-verdelingen van wilde vogelsoort dichtheden bij HPAI-onbesmette pluimveebedrijven in Zeeland (n = 70; blauwe kleur), en bij alle HPAI-besmette pluimveehouderijen in Nederland in de periode 2014-2022 (n = 71; rode kleur).

# Bijlage

Tabel A1. Lijst van wilde vogelsoorten binnen samengestelde soortgroepen die gebruikt zijn bij de analyse.

Soortgroep	Orde	Familie	Naam			
Duikeenden	Anseriformes	Anatidae	Tafeleend			
			Kuifeend			
			Toppereend			
			Grote Zaagbek			
			Middelste Zaagbek			
			Brilduiker			
			Nonnetje			
			Topper			
			Toendrarietgans			
			Kleine Rietgans			
Ganzen	Anseriformes	Anatidae	Grauwe Gans			
			Kolgans			
			Canadese Gans			
			Rotgans			
			Brandgans			
			Grote Canadese Gans			
			Nijlgans			
			Bergeend			
			Krakeend			
			Smient			
Grondeleenden	Anseriformes	Anatidae	Wilde Eend			
			Slobeend			
			Pijlstaart			
			Wintertaling			
			Knobbelzwaan			
			Kleine Zwaan			
			Wilde Zwaan			
			Zwanen	Anseriformes	Anatidae	Eider
						Zwarte Zeeend
						Ijseend
Grote Zee eend						
Zee-eenden	Anseriformes	Anatidae	Drieteenmeeuw			
			Kokmeeuw			
			Stormmeeuw			
			Grote Mantelmeeuw			
			Grote Burgemeester			
			Zilvermeeuw			
			Kleine Mantelmeeuw			
			Pontische Meeuw			
			Geelpootmeeuw			
			Meeuwen	Charadriiformes	Laridae	



Soortgroep	Orde	Familie	Naam		
Steltlopers	Charadriiformes	Charadriidae	Goudplevier		
		Recurvirostridae	Kluut		
		Scolopacidae	Scholekster		
			Kievit		
			Zilverplevier		
			Houtsnip		
			Bokje		
			Watersnip		
			Regenwulp		
			Wulp		
			Tureluur		
			Bosruiter		
			Drieteenstrandloper		
			Kleine Strandloper		
	Bonte Strandloper				
	Kemphaan				
	Witgat				
Roofvogels en uilen	Anders	Accipitridae	Sperwer		
			Havik		
			Blauwe Kiekendief		
				Zeearend	
				Buizerd	
		Falconidae	Torenvalk		
			Smelleken		
			Slechtvalk		
				Strigidae	Ransuil
		Andere vogels	Anders	Ardeidae	Roerdomp
Blauwe Reiger					
Grote Zilverreiger					
				Ciconiidae	Ooievaar
				Phalacrocoracidae	Aalscholver
					Kuifaalscholver
Podicipedidae	Dodaars				
	Fuut				
					Geoorde Fuut
Rallidae	Waterral				
	Waterhoen				
	Meerkoet				
Kraaien	Passeriformes	Corvidae	Gaai		
			Ekster		
			Kauw		
			Zwarte Kraai		
			Roek		
			Raaf		

---

Soortgroep	Orde	Familie	Naam
Duiven	anders	Columbidae	Turkse Tortel
Fazanten	anders	Phasianidae	Fazant

---

---

Wageningen Bioveterinary Research  
Postbus 65  
8200 AB Lelystad  
T 0320 23 82 38  
info.bvr@wur.nl  
[wur.nl/bioveterinary-research](http://wur.nl/bioveterinary-research)

Wageningen Bioveterinary Research  
Report

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.