



Scenario's voor gebiedsgerichte aanpak van de inrichting van het landelijk gebied en het effect daarvan op transmissie-risico's van dierziekten

Thomas Hagens, Gert-Jan Boender, Peter Hobbelen en Armin Elbers

Report 2210055

18 Juli 2022

Scenario's voor gebiedsgerichte aanpak van de inrichting van het landelijk gebied en het effect daarvan op transmissierisico's van dierziekten

Thomas Hagenaars, Gert Jan Boender, Peter Hobbelen en Armin Elbers

Afdeling Epidemiologie, Bio-informatica en Diermodellen
Wageningen Bioveterinary Research (WBVR)
Lelystad

Arjan Stegeman (Faculteit Diergeneeskunde, Universiteit Utrecht) was in dit project als adviseur betrokken.

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' (projectnummer BO-43-111-039 / KD-2021-051)

Wageningen Bioveterinary Research
Lelystad, 18 juli 2022

Report 2210055
DOI:10.18174/571487

Hagenaars, T., G.J. Boender, P. Hobbelen, A. Elbers, 2022. Scenario's voor gebiedsgerichte aanpak van de inrichting van het landelijk gebied en het effect daarvan op transmissie-risico's van dierziekten. Lelystad, Wageningen Bioveterinary Research, Report 2210055. 46 bladzijden; 42 figuren; 6 tabellen; 3 bijlages; 4 referenties.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/571487> of op 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, www.wur.nl/bioveterinary-research.
Wageningen Bioveterinary Research.

Dit rapport is uitgegeven onder een Creative Commons (CC) license: CC **BY-NC-ND**.

BY: het werk kan worden geredistribueerd (kopiëren, publiceren, communiceren etc.), bij gebruik van het werk moet er wel worden gerefereerd naar het originele werk.

NC: non-commercial use; ND: no derivative works.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Aanleiding en vraagstelling	7
2 Aanpak	9
3 Resultaten	11
4 Discussie	21
Referenties	22
Bijlage 1 Tabellen en risicokaarten: gevoeligheidsanalyse	23
Bijlage 2 Berekeningsdetails scenario's	41
Bijlage 3 Gebruikte modellen voor tussen-bedrijfstransmissie	43

Samenvatting (NL & UK)

NL Om in de gebiedsgerichte aanpak van de inrichting van het landelijk gebied ook de risico's voor introductie en verspreiding van dierziekten mee te kunnen laten wegen, werd in dit Kennisdeskproject in opdracht van het ministerie van LNV een aantal scenario's doorgerekend. In dit onderzoek werd het effect van verschillende scenario's van veranderingen in de bedrijfsgrootte of locatie op dierziekteverspreidingsrisico's geëvalueerd door het modelleren van tussen-bedrijfstransmissie van hoog pathogene aviaire influenza (HPAI) in pluimvee en van klassieke varkenspest (KVP) in varkens. Voor zowel HPAI als KVP is de relatieve reductie van verspreidingsrisico's het grootst bij het scenario 'risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven', gevolgd door 'willekeurig reduceren van het aantal bedrijven', en 'reduceren bedrijfsgroottes terwijl aantal bedrijven gelijk blijft'. Dus risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven is effectiever dan willekeurig laten stoppen van bedrijven, en het willekeurig laten stoppen van bedrijven is weer effectiever dan het per bedrijf reduceren van het dieraantal. Vanwege verschillen tussen parameterwaarden voor KVP en HPAI voorspellen de modelberekeningen hierbij wel een kwantitatief verschil tussen KVP en HPAI: het verschil in effectiviteit tussen het minst effectieve scenario (reduceren bedrijfsgroottes terwijl aantal bedrijven gelijk blijft) en het meest effectieve scenario (risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven) is voor KVP in varkens (veel) minder groot dan voor HPAI in pluimvee. Het verschil in effectiviteit tussen het scenario 'reduceren bedrijfsgroottes terwijl aantal bedrijven gelijk blijft' en het scenario 'willekeurig reduceren van het aantal bedrijven', is voor KVP in varkens veel kleiner dan voor HPAI in pluimvee.

UK In order to be able to take into account the risks for the introduction and spread of animal diseases in the area-oriented approach to the design of the rural area, a number of scenarios were calculated in this Knowledge Desk project commissioned by the Ministry of LNV. In this study, the effect of different scenarios of changes in farm size or location on animal disease spread risks was evaluated by modelling between-farm transmission of highly pathogenic avian influenza (HPAI) in poultry and classical swine fever (CSF) in pigs.

For both HPAI and CSF, the relative reduction of transmission risks is greatest in the scenario 'risk-based reduction of the number of farms', followed by 'random reduction of the number of farms', and 'reduce farm sizes while the number of farms remains the same'. So risk-based reduction of the number of farms is more effective than random removal of farms, and random removal of farms is more effective than reducing the number of animals per farm. There is, however, due to differences between parameter values of HPAI and CSF, a quantitative difference between CSF and HPAI: the difference in effectiveness between the least effective scenario (reducing farm sizes while the number of farms remains the same) and the most effective scenario (risk-based reduction of the number of farms) is for CSF in pigs (much) less than for HPAI in poultry. The difference in effectiveness between the scenario 'reducing farm sizes while the number of farms remains the same' and the scenario 'random reduction of the number of farms' is much smaller for CSF in pigs than for HPAI in poultry.

1. Aanleiding en vraagstelling

Er zijn recentelijk verschillende rapporten verschenen over de ruimtelijke inrichting van het landelijk gebied. Zo is er bijvoorbeeld het advies van de Studiegroep Ruimtelijke inrichting landelijk gebied. Om in een gebiedsgerichte aanpak van de inrichting van het landelijk gebied ook de risico's voor introductie en verspreiding van dierziekten mee te kunnen laten wegen, werd in dit Kennisdeskproject in opdracht van het ministerie van LNV een aantal scenario's doorgerekend.

Vraagstelling: In welke mate worden er dierziekteverspreidingsrisico's verlaagd bij aanpassingen in de veehouderij wat betreft locatie en omvang? In het bijzonder, in hoeverre wordt de R_h (reproductiegetal tussen bedrijven) zodanig verlaagd dat bestrijding van ziekten met de standaard EU maatregelen volstaat?

2. Aanpak

In dit onderzoeksproject werd het effect van verschillende scenario's van veranderingen in de bedrijfsgrootte of locatie op dierziekteverspreidingsrisico's geëvalueerd door het modelleren van tussen-bedrijfstransmissie van hoog pathogene aviaire influenza (HPAI) in pluimvee en van klassieke varkenspest (KVP) in varkens; over mond- en klauwzeer (MKZ) worden in de Discussie opmerkingen gemaakt. In overleg met de opdrachtgever focust dit project op transmissierisico's tussen veehouderijbedrijven d.w.z. werd het effect van de scenario's op kansen van introductie van dierziektepathogenen op bedrijven vanuit bijvoorbeeld wilde fauna, opgenomen in de oorspronkelijke versie van de vraagstelling, niet geanalyseerd.

In de evaluatie werd gebruik gemaakt van het reproductiegetal voor tussen-bedrijfstransmissie (R_h). Deze R_h is gedefinieerd als het verwachte aantal bedrijven dat door een besmet bedrijf op zijn beurt wordt besmet. De R_h wordt in dit rapport berekend in aanwezigheid van 'EU minimum maatregelen'. Omdat deze maatregelen onder meer vervoersbeperkingen inhouden, beschrijft de R_h de transmissie tussen bedrijven in afwezigheid van diertransport tussen die bedrijven. Door deze R_h per bedrijf (d.w.z. op alle veehouderijlocaties met pluimvee of varkens) te berekenen wordt een risicokaart voor verspreiding verkregen [1]. De risicokaart toont de gemodelleerde R_h voor alle pluimveebedrijven of varkensbedrijven in de meest recente van RVO verkregen dataset. Op het moment van de berekeningen voor dit project was dit een dataset voor 2020. In de berekeningen van de R_h risicokaarten worden modellen gebruikt om te extrapoleren vanuit de meest recent beschikbare gegevens van epidemieën waar tussen-bedrijfstransmissie is opgetreden, nl. van 1997/1998 (KVP) en 2003 (HPAI) naar 2020 op basis van de veranderingen in bedrijfsgroottes en in aantallen bedrijven.

Directe input voor de R_h risicokaart zijn de volgende gegevens/'variabelen' uit de RVO dataset:

1. Alle bedrijfslocaties (x, y) met pluimvee (HPAI) resp. varkens (KVP) in Nederland, en daarvan afgeleid ook alle afstanden in kilometers tussen bedrijfslocaties;
2. Bijbehorende bedrijfsgroottes (aantal dieren op bedrijf);
3. Voor pluimvee (HPAI) ook de bijbehorende bedrijfstypen (vleeskuikens, leghennen, eenden, kalkoenen).

De onderliggende modellen zijn gebaseerd op statistische analyse van de vogelgriep epidemie uit 2003 [2] en de klassieke-varkenspest epidemie uit 1997/1998 [3], namelijk gegevens 1-3 en gegevens van uitbraakbedrijven en preventief geruimde bedrijven; deze gegevens uit 2003 respectievelijk 1997/1998 zijn daardoor dus indirecte input voor de risicokaart. Gebaseerd op deze statistische analyses beschrijven de modellen de transmissiekans per dag tussen een besmet bedrijf en een nog niet besmet bedrijf op grond van de afstand tussen de bedrijven en de bedrijfsgroottes; en voor HPAI ook op grond van de bedrijfstypen (vleeskuikens, leghennen, eenden, kalkoenen). Een belangrijke modelaannname is dat er naast de invloed van afstanden tussen bedrijven (bedrijfsdichtheid) en van bedrijfsgrootte, en voor pluimvee ook bedrijfstype, geen andere belangrijke invloeden zijn die hebben geleid tot verschillen tussen de transmissiekansen in 2003 en 2021. Bijvoorbeeld, als pluimveebedrijven in de praktijk van 2021 gemiddeld een betere hygiëne realiseren dan pluimveebedrijven van zelfde type en bedrijfsgrootte in 2003, dan zouden de transmissiekansen in werkelijkheid lager zijn dan volgens het model.

Voor HPAI en KVP apart werden voor de volgende scenario's de R_h waardes berekend:

1. De huidige situatie.
2. Reductie van het aantal bedrijven zodanig dat het totaal aantal dieren ('veestapel') met (a) 25% of (b) 50% wordt verkleind (waarbij dus op de overblijvende bedrijven de dieraantallen niet veranderen):
 - 2.1. Door middel van willekeurig selecteren van bedrijven die gaan stoppen;
 - 2.2. Door middel van het risico-gebaseerd (d.w.z. op basis van de waarden van R_h per bedrijf) selecteren van de bedrijven die gaan stoppen;
3. Reductie van de omvang van bedrijven (d.w.z. dieraantal op bedrijven) met (a) 25% en (b) 50%, terwijl het aantal bedrijven gelijk blijft.

De scenario's 2.1, 2.2 en 3 hebben met elkaar gemeen dat steeds het totaal aantal dieren (veestapel) met 25 of 50 procent wordt gereduceerd. Dit gebeurt ofwel door bedrijven kleiner te maken ofwel door bedrijven te laten stoppen. De scenario's zijn zo gedefinieerd om een eerlijke vergelijking tussen scenario 2.2 en de andere te kunnen maken, m.a.w. op basis van een even grote reductie van de veestapel. Als scenario 2.2 gedefinieerd was geweest als 'de 25% of 50% bedrijven met hoogste R_h laten stoppen', zou dat in het algemeen niet overeenkomen met reductie van de veestapel met precies 25% of 50%. In

het bovenstaande lijstje gaat het om in totaal 14 scenario's (zeven voor HPAI en zeven voor KVP). Deze werden elk voor drie 'R_h scenario's' berekend, namelijk voor:

- R_h referentiescenario, gebaseerd op de maximum-likelihood parameterschattingen van het onderliggende transmissiemodel;
- 'R_h hoog' scenario, gebaseerd op een 50% hogere waarde voor de overall transmissieparameter;
- 'R_h laag' scenario, gebaseerd op een 25% lagere waarde voor de overall transmissieparameter.

De scenario's 'R_h hoog' en 'R_h laag' vormen samen een gevoeligheidsanalyse voor de onzekerheid van de in het referentiescenario gebruikte modelparameterwaarde(n). Deze gevoeligheidsanalyse is belangrijk omdat de veranderingen (van 1997/1998 of 2003 naar 2020) in gemiddelde bedrijfsgrootte en in aantal bedrijven voor zowel varkenshouderij als pluimveehouderij substantieel zijn. Er is hierbij gekozen voor een '50% hogere waarde' ('R_h hoog') versus '25% lagere waarde' ('R_h laag') voor de overall transmissieparameter. Dit zijn hoge percentages, zo hoog gekozen omdat de model-extrapolatie over een groot aantal jaren plaatsvindt waarin veranderingen in de varkenshouderij en pluimveehouderij hebben plaatsgevonden, waardoor de kans groter wordt dat er naast de factoren die in rekening worden gebracht in het model ook andere veranderingen invloed hebben op de transmissierisico's. De resultaten voor het referentiescenario worden getoond in de hoofdtekst van deze rapportage, en de scenario's 'R_h hoog' en 'R_h laag' (gevoeligheidsanalyses) worden getoond in Bijlage 1.

Naast de risicokaarten werden ook berekeningen gedaan van het relatieve effect van de verschillende scenario's in termen van reductie van dierzieketransmissierisico's voor HPAI en KVP. Dit werd gedaan op basis van:

- De mate van reductie van 5-percentiel, mediaan en 95-percentiel van R_h,
- De mate van reductie van gemiddelde R_h,
- De mate van reductie van het aantal bedrijven met R_h>1, en met R_h>0.05.

In de Resultaten zullen we ons beperken tot de mate van reductie van de mediaan van R_h en van het aantal bedrijven met R_h>1 en met R_h>0.05. De resultaten voor de andere grootheden geven geen wezenlijke toevoeging aan de verkregen inzichten. De resultaten voor R_h>0.05, hoewel 0.05 als grenswaarde geen epidemiologische betekenis heeft, zijn opgenomen naast die voor R_h>1 omdat hiervoor de aantallen voor alle scenario's groter zijn dan 0, zodat in een aantal gevallen een gedetailleerder ranking van scenario's mogelijk is dan op basis van R_h>1.

Voor de technische details van de berekeningen verwijzen we naar Bijlage 2 (berekeningsdetails scenario's) en Bijlage 3 (gebruikte modellen voor tussen-bedrijfstransmissie).

3. Resultaten

Ranking strategieën

Voor zowel HPAI als KVP is de relatieve reductie van verspreidingsrisico's het grootst bij het scenario 'risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven', gevolgd door 'willekeurig reduceren van het aantal bedrijven', en 'reduceren bedrijfsgroottes terwijl aantal bedrijven gelijk blijft'. Dus risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven is effectiever dan willekeurig laten stoppen van bedrijven, en het willekeurig laten stoppen van bedrijven is weer effectiever dan het per bedrijf reduceren van het dieraantal. Deze volgorde van effectiviteit is hetzelfde ongeacht welke risicomaat wordt gebruikt (d.w.z. mate van reductie van het aantal bedrijven met $R_h > 1$, mate van reductie van gemiddelde R_h , mate van reductie van 5-percentiel, mediaan en 95-percentiel van R_h) en is robuust in de gevoeligheidsanalyse (zie Bijlage 1). Er is hierbij wel een kwantitatief verschil tussen KVP en HPAI: het verschil in effectiviteit tussen het minst effectieve scenario 3 en het meest effectieve scenario 2.2 is voor KVP in varkens (veel) minder groot dan voor HPAI in pluimvee. Het verschil in effectiviteit tussen de scenario's 3 en 2.1 is voor KVP in varkens veel kleiner dan voor HPAI in pluimvee. In Tabel 1 hieronder worden de resultaten voor de mediaan van R_h gegeven onder het R_h referentiescenario.

Tabel 1. Resultaten voor de mediaan van R_h , onder het R_h referentiescenario.

Scenario	HPAI R_h Mediaan	HPAI R_h Mediaan relatief	KVP R_h Mediaan	KVP R_h Mediaan relatief
1 Huidig	0.139	1.00	0.25	1.00
2.1a 25% minder bedrijven, willekeurig	0.104	0.75	0.19	0.75
2.2a 25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.076	0.54	0.16	0.65
3a 25% minder dieren op elk bedrijf	0.127	0.92	0.20	0.79
2.1b 50% minder bedrijven, willekeurig	0.069	0.50	0.12	0.50
2.2b 50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.040	0.29	0.072	0.29
3b 50% minder dieren op elk bedrijf	0.104	0.75	0.13	0.53

In Tabel 2 hieronder staan de resultaten voor het aantal bedrijven met $R_h > 1$ en met $R_h > 0.05$ onder het R_h referentiescenario. Voor KVP en uitgaande van de huidige (2020) varkensbedrijfsdichtheden en -bedrijfsgroottes geeft een verlaging van het aantal dieren met 25% door middel van het risico-gebaseerd selecteren van de bedrijven die gaan stoppen, aanleiding tot verlaging van de berekenende R_h waarden tot onder de 1 voor alle bedrijven, zodat bestrijding met EU maatregelen volstaat. Dit geldt (dus) ook voor het op dezelfde wijze reduceren van het aantal dieren met 50% in plaats van 25%. Onder de andere scenario's blijven er nog wel bedrijven met $R_h > 1$ over, waarbij dit aantal voor het scenario 'reductie van dieraantal met 50% middels willekeurig selecteren van bedrijven die gaan stoppen' het laagst is. Voor HPAI zijn er, onder het R_h referentiescenario, alleen bedrijven met R_h hoger dan 1 in de huidige situatie (scenario 1) en in scenario 3a. Een meer gedetailleerde ranking van scenario's de scenario's is mogelijk aan de hand van de resultaten voor $R_h > 0.05$; voor zowel KVP als HPAI is de ranking naar mate van reductie van het aantal bedrijven met $R_h > 0.05$: 2.2b – 2.2a – 2.1b – 3b – 2.1a – 3a.

Tabel 2. Het aantal bedrijven met $R_h > 1$, en met $R_h > 0.05$, onder het R_h referentiescenario.

Scenario		HPAI # $R_h > 1$	HPAI # $R_h > 0.05$	KVP # $R_h > 1$	KVP # $R_h > 0.05$
1	Huidig	61	1554	394	3048
2.1a	25% minder bedrijven, willekeurig	0	1419	180	2949
2.2a	25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	967	0	2508
3a	25% minder dieren op elk bedrijf	29	1497	314	2965
2.1b	50% minder bedrijven, willekeurig	0	1171	21	2739
2.2b	50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	386	0	1664
3b	50% minder dieren op elk bedrijf	0	1399	171	2754

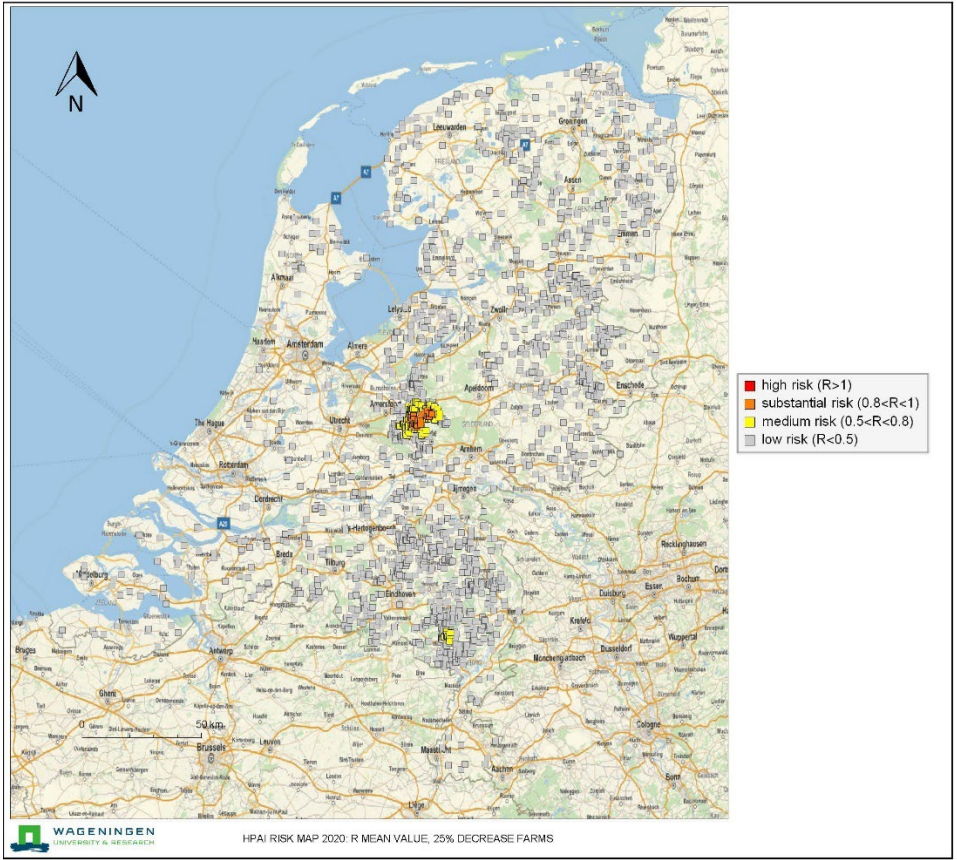
Risicokaarten

Hieronder staan de 14 risicokaarten van het R_h referentiescenario. In deze risicokaarten tonen op de kaarten van Nederland, de berekende R_h voor alle pluimveebedrijven of varkensbedrijven, gebruik makend van de van RVO verkregen dataset voor 2020. De waarde van R_h wordt met behulp van een kleurenschaal aangegeven, zodanig dat gebieden waar bedrijven met een $R_h > 1$ liggen, met andere woorden: hoog-risicogebieden voor tussen-bedrijfstransmissie, zichtbaar worden als clusters van rode stippen. Een voorbeeld hiervan is een deel van de Gelderse Vallei in Figuur 1a. Gebieden waar R_h tussen 0.8 en 1 ligt zijn op de kaarten zichtbaar als clusters van oranje stippen, bijvoorbeeld een deel van de Gelderse Vallei in Figuur 1b.

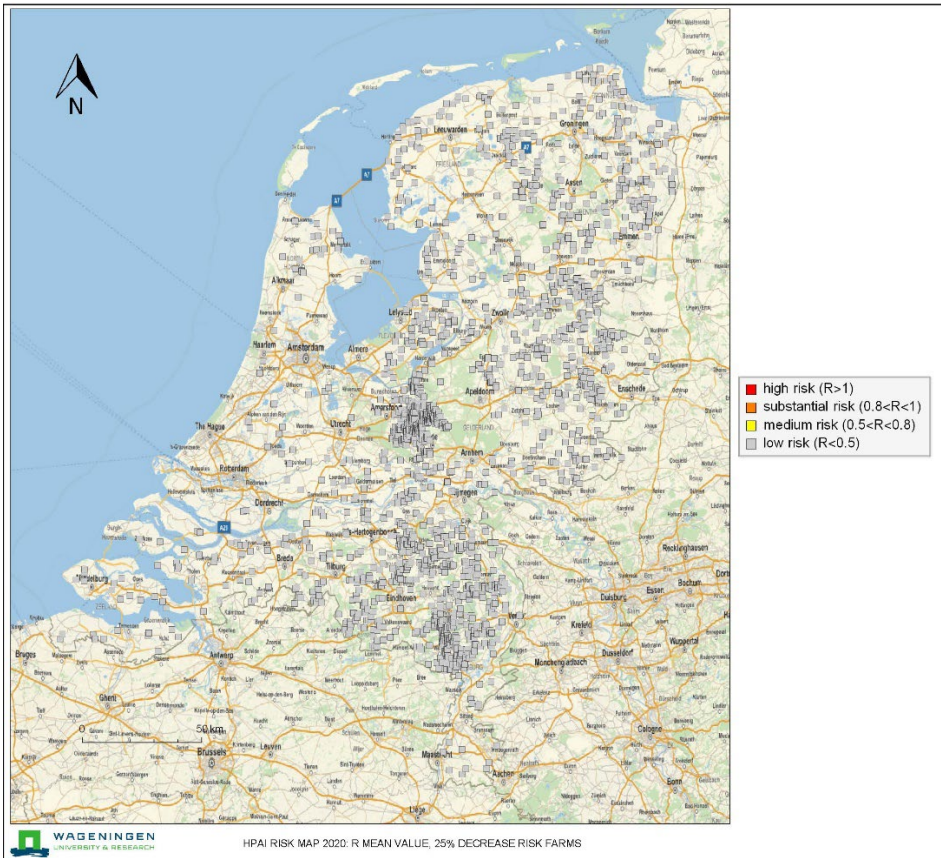
Voor KVP zijn in de huidige situatie (scenario 1) de hoog-risicogebieden (met de bedrijven met $R_h > 1$) aanmerkelijk groter dan voor HPAI, in overeenstemming met het feit dat in Tabel 2 het aantal bedrijven met $R_h > 1$ sterk verschilt tussen KVP (394) en HPAI (61). Ook voor wat betreft de verschillende reductiescenario's corresponderen de risicokaarten met Tabel 2: de modelberekeningen voorspellen dat voor KVP alleen de beide risico-gebaseerde scenario's (2.2a en 2.2b) leiden tot het verdwijnen van hoog-risicogebieden, terwijl voor HPAI ook de beide scenario's met willekeurige selectie van bedrijven die gaan stoppen (2.1a en 2.1b) en ook het halveren van het aantal dieren op elk bedrijf (3b) dat effect hebben.



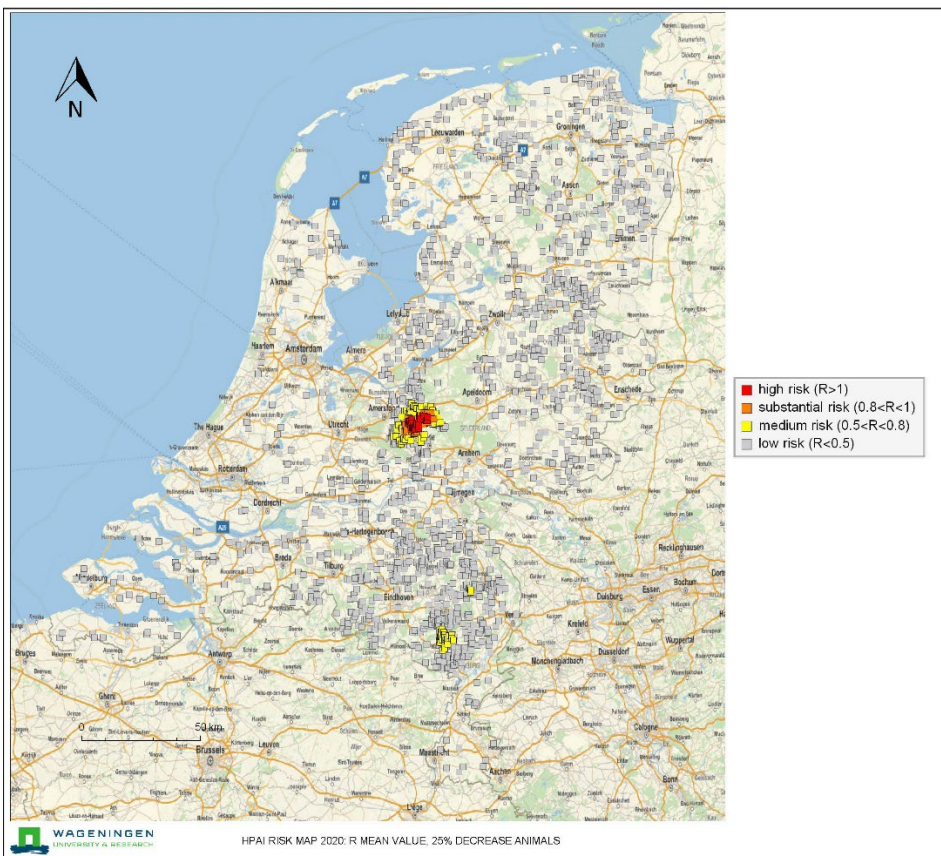
Figuur 1a. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor huidige situatie, onder het R_h referentiescenario.



Figuur 1b. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het R_h referentiescenario.



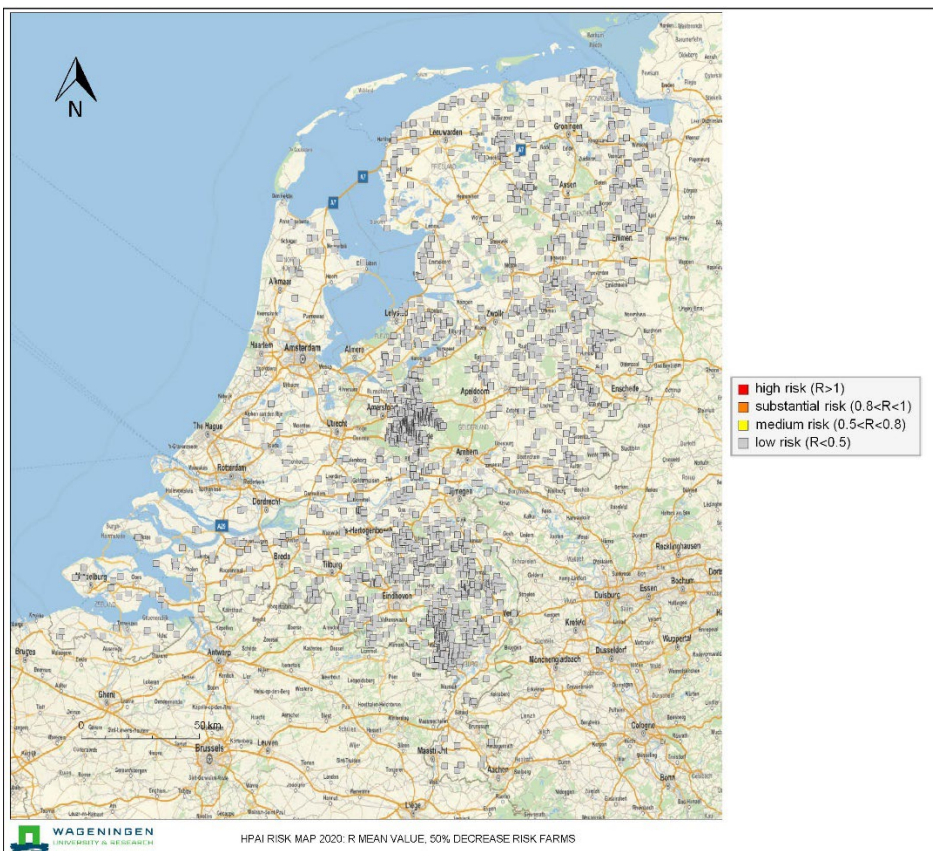
Figuur 1c. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het R_h referentiescenario.



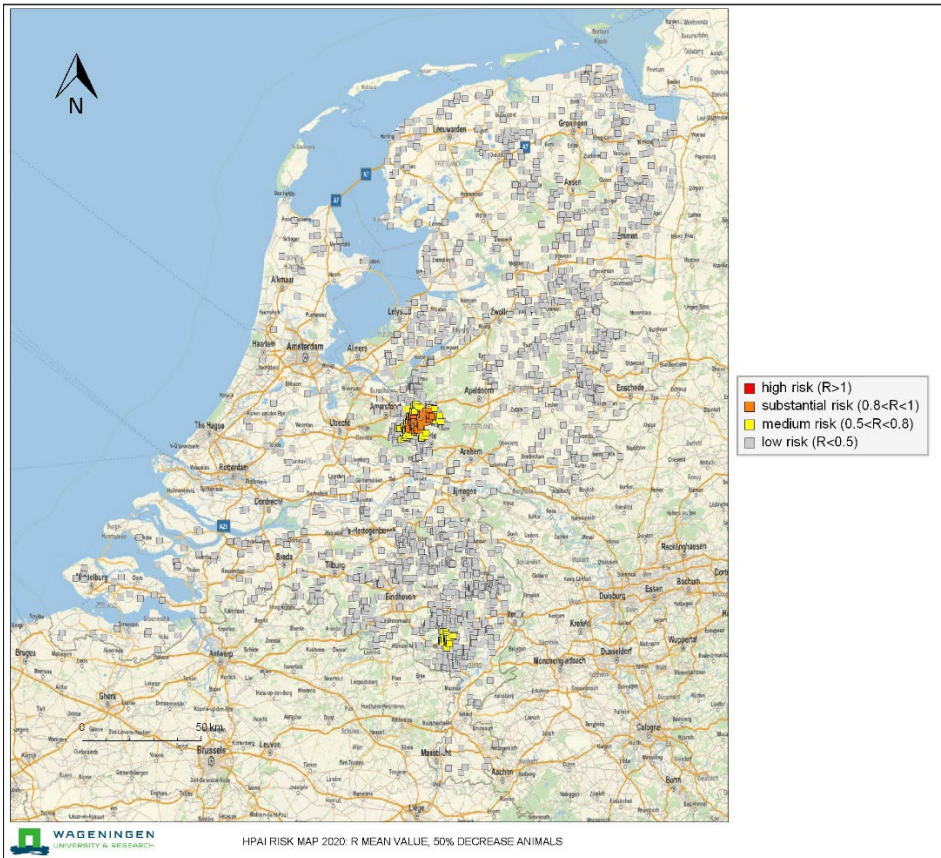
Figuur 1d. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het R_h referentiescenario.



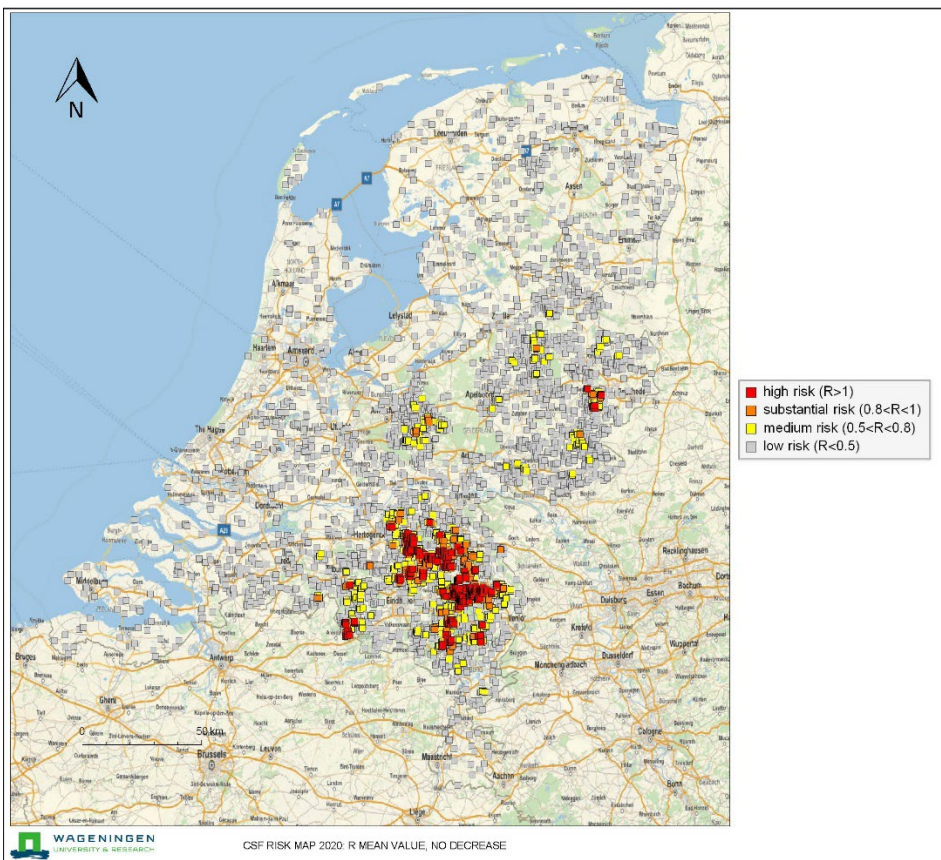
Figuur 1e. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het R_h referentiescenario.



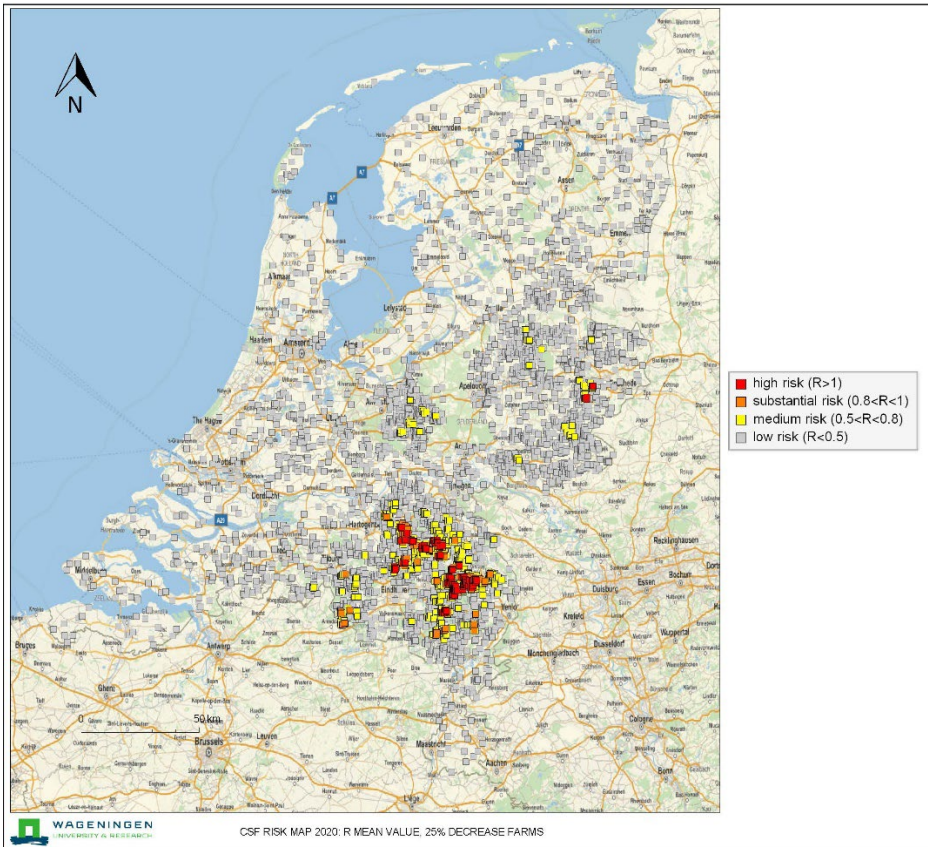
Figuur 1f. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het R_h referentiescenario.



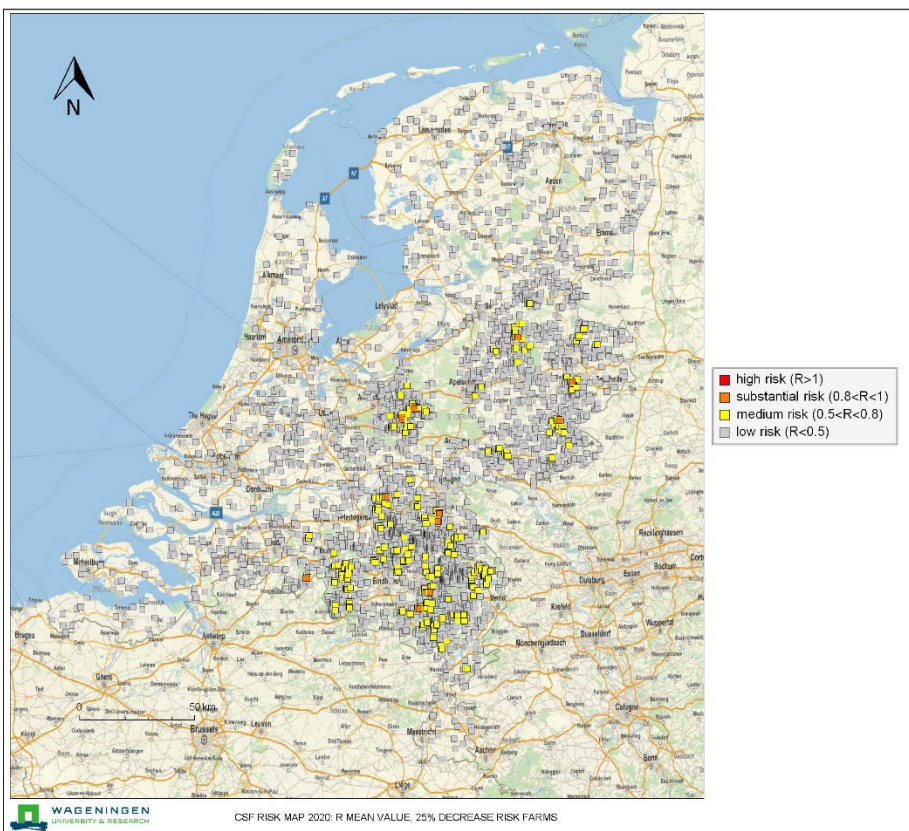
Figuur 1g. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het R_h referentiescenario.



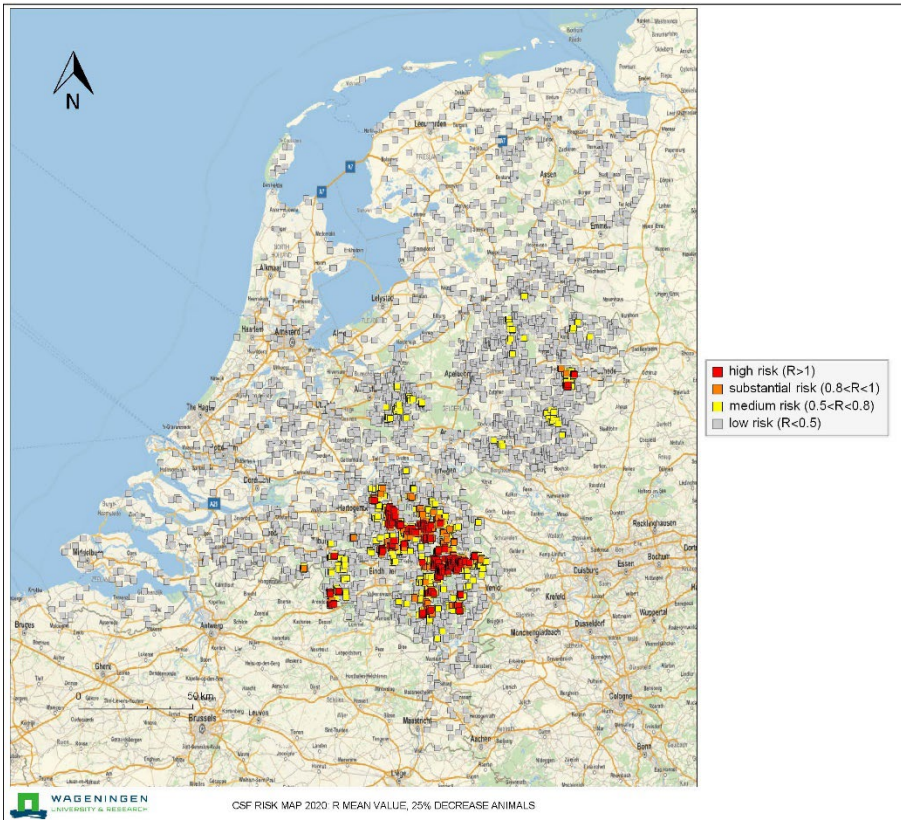
Figuur 2a. Risicokaart voor KVP in varkens voor huidige situatie, onder het R_h referentiescenario.



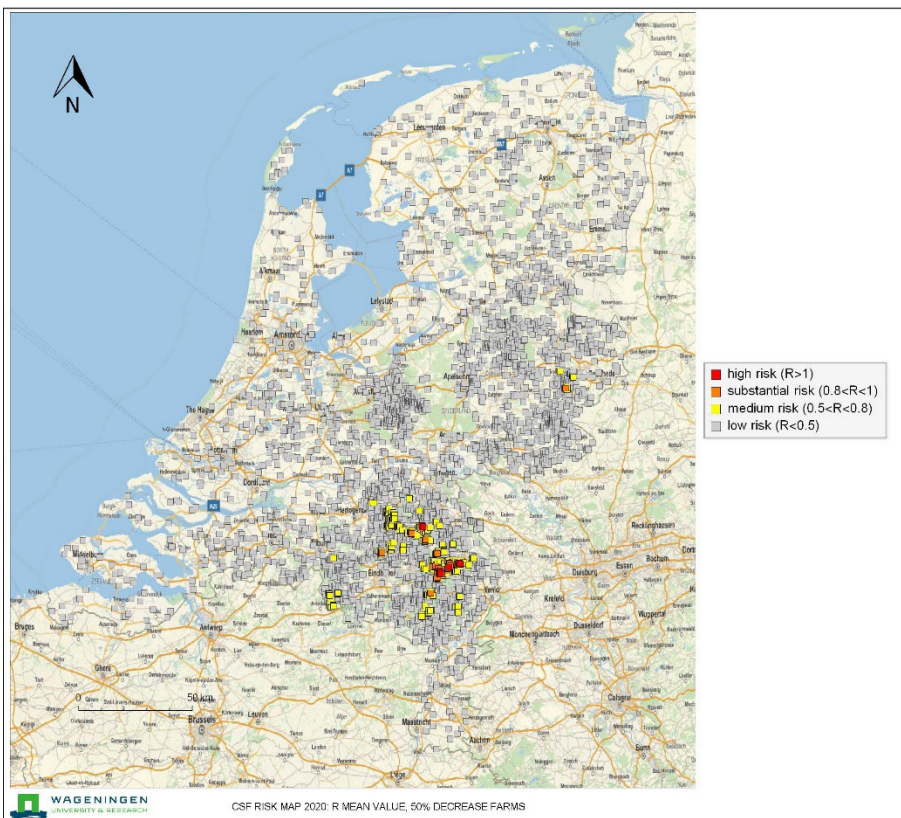
Figuur 2b. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het R_h referentiescenario.



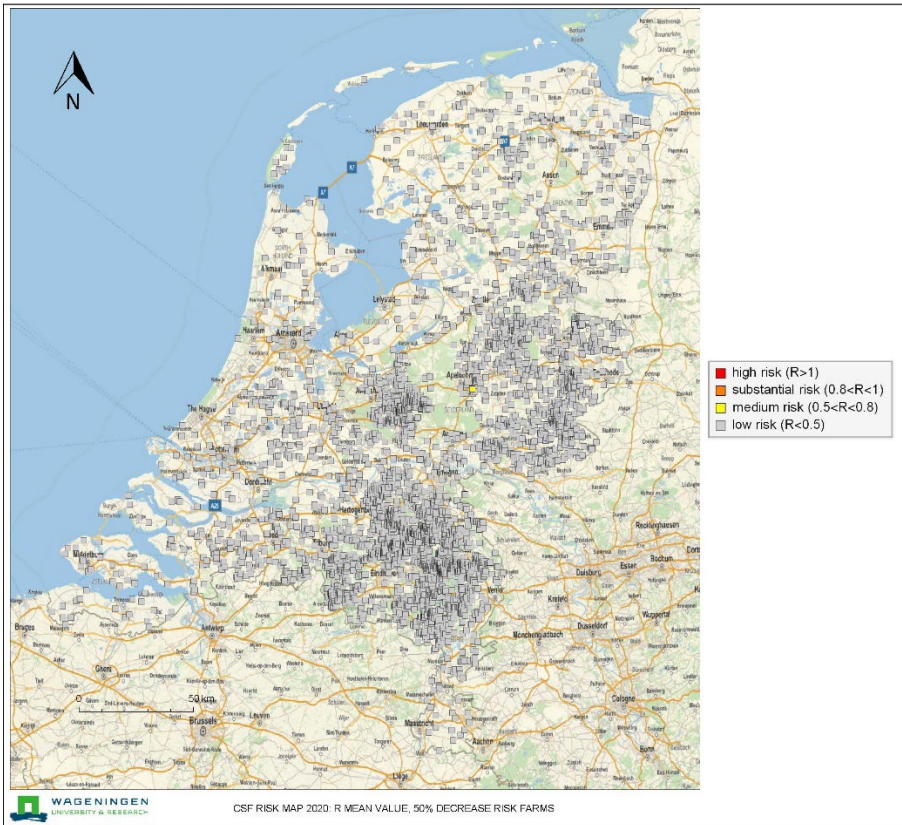
Figuur 2c. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het R_h referentiescenario.



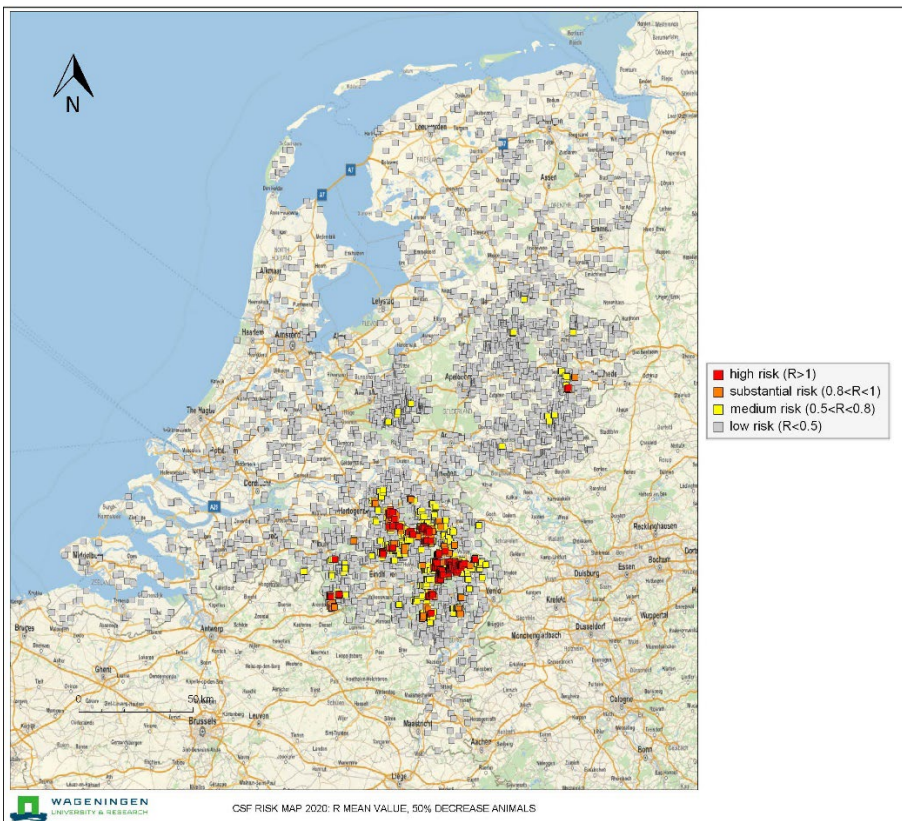
Figuur 2d. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het R_h referentiescenario.



Figuur 2e. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het R_h referentiescenario.



Figuur 2f. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het R_h referentiescenario.



Figuur 2g. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het R_h referentiescenario.

4. Discussie

De resultaten laten zien dat voor zowel HPAI als KVP de relatieve reductie van verspreidingsrisico's het grootst is bij het scenario 'risico-gebaseerd reduceren van het aantal bedrijven', gevolgd door 'willekeurig reduceren van het aantal bedrijven', en 'reduceren bedrijfsgroottes terwijl aantal bedrijven gelijk blijft'. Ook in de gevoeligheidsanalyses (Bijlage 1) verandert deze ranking van strategieën niet. De reden voor dit robuuste resultaat kan als volgt in modeltermen worden geïnterpreteerd: Het per bedrijf reduceren van het aantal dieren is minder efficiënt dan het laten stoppen van bedrijven omdat de R_h minder dan evenredig toeneemt met het aantal dieren op bedrijven. Bij het laten stoppen van bedrijven is een risico-gebaseerde selectie van bedrijven die gaan stoppen efficiënter dan een willekeurige selectie om de volgende reden: De bedrijven met hoogste R_h clusteren zodat een R_h -gebaseerde selectie van bedrijven die gaan stoppen vaker nabuurbedrijven laat stoppen bij bedrijven met relatief hoge R_h dan bij de bedrijven met relatief lage R_h .

Scenario's waarbij de bedrijfsgrootte met 25% (HPAI) of zelfs 50% (KVP) wordt verminderd zijn volgens de berekeningen onder R_h referentiescenario onvoldoende effectief om de hoog-risicogebieden kwijt te raken. Echter het verminderen van de veestapel met 25% door een risico-gebaseerde selectie van volledige bedrijven die gaan stoppen is voor zowel HPAI in pluimvee als voor KVP in varkens voldoende om, onder het R_h referentiescenario, de hoog-risicogebieden kwijt te raken. In het ' R_h hoog' scenario (Bijlage 1) geldt dit nog steeds voor HPAI in pluimvee, terwijl voor KVP in varkens de vereiste minimumreductie dan ergens tussen 25% en 50% in ligt.

Het ' R_h laag' en ' R_h hoog' scenario zijn in dit onderzoeksproject opgenomen om de gevoeligheid te analyseren voor veranderingen in transmissiekansen door andere factoren dan die in rekening worden gebracht in het model, zoals de sinds 1997/1998 en 2003 mogelijk toegenomen hygiëne, de veranderde gemiddelde stalgrootte op grotere bedrijven, en toegenomen aantal uitloopbedrijven voor pluimvee. Zoals boven al opgemerkt blijft de ranking van strategieën, een centrale bevinding van deze analyses, ongewijzigd in de gevoeligheidsanalyses. Een andere bevinding die robuust is, is dat volgens deze modelanalyses de situatie voor KVP in varkens minder gunstig is dan voor HPAI in pluimvee doordat de uitgangssituatie 'huidig' minder gunstig is: meer hoog-risicobedrijven voor KVP in varkens dan voor HPAI in pluimvee. Met andere woorden, in vergelijking met de situatie in 1997/1998 en 2003 is de berekende uitgangssituatie (in termen van omvang van hoog-risico-gebieden) veel minder verbeterd voor KVP in varkens dan voor HPAI in pluimvee. Dit komt doordat de schaalvergroting die in beide sectoren sinds destijds heeft plaatsgevonden, in de modelberekeningen weliswaar kwalitatief op dezelfde wijze, maar kwantitatief verschillend doorwerkt. Meer details hiervan worden besproken aan het eind van Bijlage 3. Vanwege de grotere complexiteit van een analyse voor MKZ (als gevolg van meerdere diersoorten die een rol spelen bij MKZ-infecties: varkens, runderen, schapen, geiten) viel een analyse voor MKZ buiten het bestek van dit Kennisdesk-project. Gezien de specifieke relevantie van herkauwers in de stikstofcrisis zouden voor MKZ ook meer naar diersoort gedetailleerde scenario's interessant zijn om uit te werken.

Referenties

- [1] G.J. Boender, T.J. Hagenaars, A. Bouma, G. Nodelijk, A.R.W. Elbers, M.C.M. de Jong, M. van Boven. (2007). Risk maps for the spread of highly pathogenic avian influenza in poultry. *PLoS Comput. Biol.* 3, e71.
- [2] Analyse van de invloed van bedrijfsgrootte, bedrijfstype, en afstand tussen pluimveebedrijven op tussen-bedrijfstransmissie tijdens de HPAI epidemie in 2003. WOT-O project 'Upgrade EpiTools AI', 2018-2019; WOT-01-003-082 en KB-21-006-034.
- [3] G.J. Boender, R. van den Hengel, H.J.W. van Roermund, T.J. Hagenaars. (2014). The Influence of Between-Farm Distance and Farm Size on the Spread of Classical Swine Fever during the 1997–1998 Epidemic in The Netherlands. *PLoS ONE* 9(4): e95278.

Bijlage 1 Tabellen en risicokaarten: gevoeligheidsanalyse

Tabel B1.1. Resultaten voor de mediaan van R_h , onder het 'R_h hoog' scenario, gebaseerd op een 50% hogere waarde voor de overall transmissieparameter.

Scenario	HPAI R_h Mediaan	HPAI R_h Mediaan relatief	KVP R_h Mediaan	KVP R_h Mediaan relatief
1 Huidig	0.21	1.00	0.37	1.00
2.1a 25% minder bedrijven, willekeurig	0.16	0.75	0.28	0.75
2.2a 25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.11	0.55	0.24	0.65
3a 25% minder dieren op elk bedrijf	0.19	0.92	0.30	0.79
2.1b 50% minder bedrijven, willekeurig	0.10	0.50	0.19	0.50
2.2b 50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.06	0.29	0.11	0.29
3b 50% minder dieren op elk bedrijf	0.16	0.75	0.20	0.53

Tabel B1.2. Resultaten voor de mediaan van R_h , onder het 'R_h laag' scenario, gebaseerd op een 25% lagere waarde voor de overall transmissieparameter.

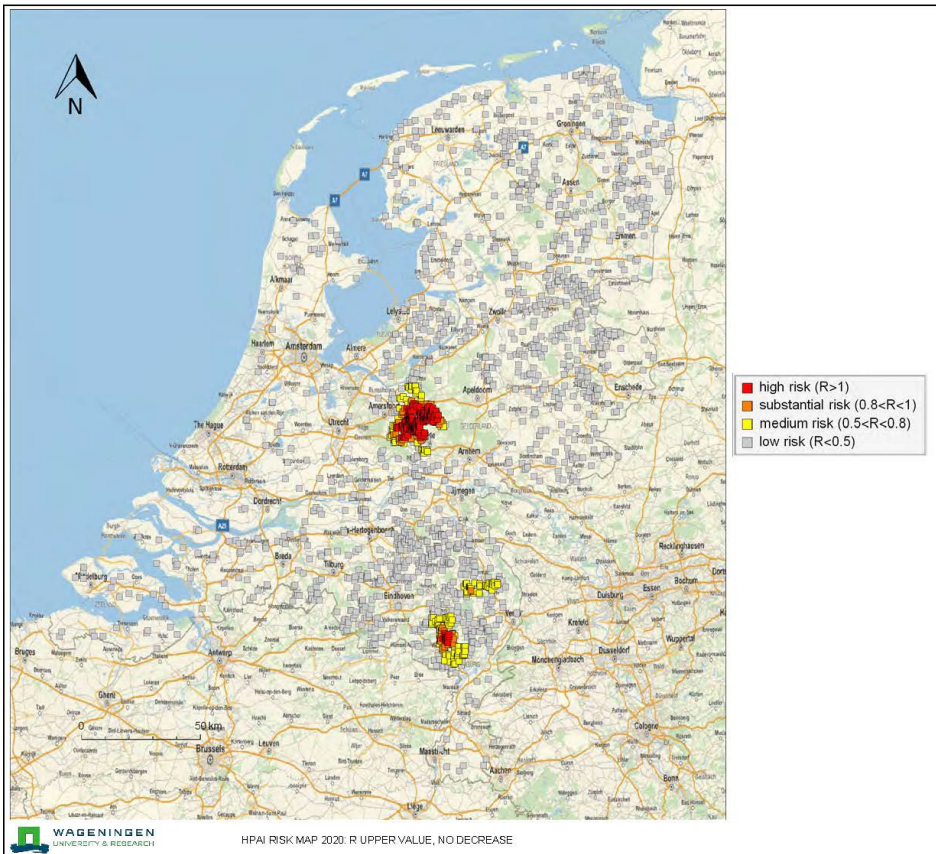
Scenario	HPAI R_h Mediaan	HPAI R_h Mediaan relatief	KVP R_h Mediaan	KVP R_h Mediaan relatief
1 Huidig	0.10	1.00	0.19	1.00
2.1a 25% minder bedrijven, willekeurig	0.08	0.75	0.14	0.75
2.2a 25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.06	0.55	0.12	0.65
3a 25% minder dieren op elk bedrijf	0.10	0.92	0.15	0.80
2.1b 50% minder bedrijven, willekeurig	0.05	0.50	0.09	0.50
2.2b 50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0.03	0.29	0.05	0.29
3b 50% minder dieren op elk bedrijf	0.08	0.75	0.10	0.53

Tabel B1.3. Het aantal bedrijven met $R_h > 1$, en met $R_h > 0.05$, onder het 'R_h hoog' scenario, gebaseerd op een 50% hogere waarde voor de overall transmissieparameter.

Scenario	HPAI #R_h>1	HPAI #R_h>0.05	KVP #R_h>1	KVP #R_h>0.05
1 Huidig	181	1691	847	3165
2.1a 25% minder bedrijven, willekeurig	91	1591	507	3086
2.2a 25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	1140	69	2624
3a 25% minder dieren op elk bedrijf	135	1658	691	3093
2.1b 50% minder bedrijven, willekeurig	0	1419	163	2948
2.2b 50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	588	0	1837
3b 50% minder dieren op elk bedrijf	78	1584	443	2941

Tabel B1.4. Het aantal bedrijven met $R_h > 1$, en met $R_h > 0.05$, onder het 'R_h laag' scenario, gebaseerd op een 25% lagere waarde voor de overall transmissieparameter.

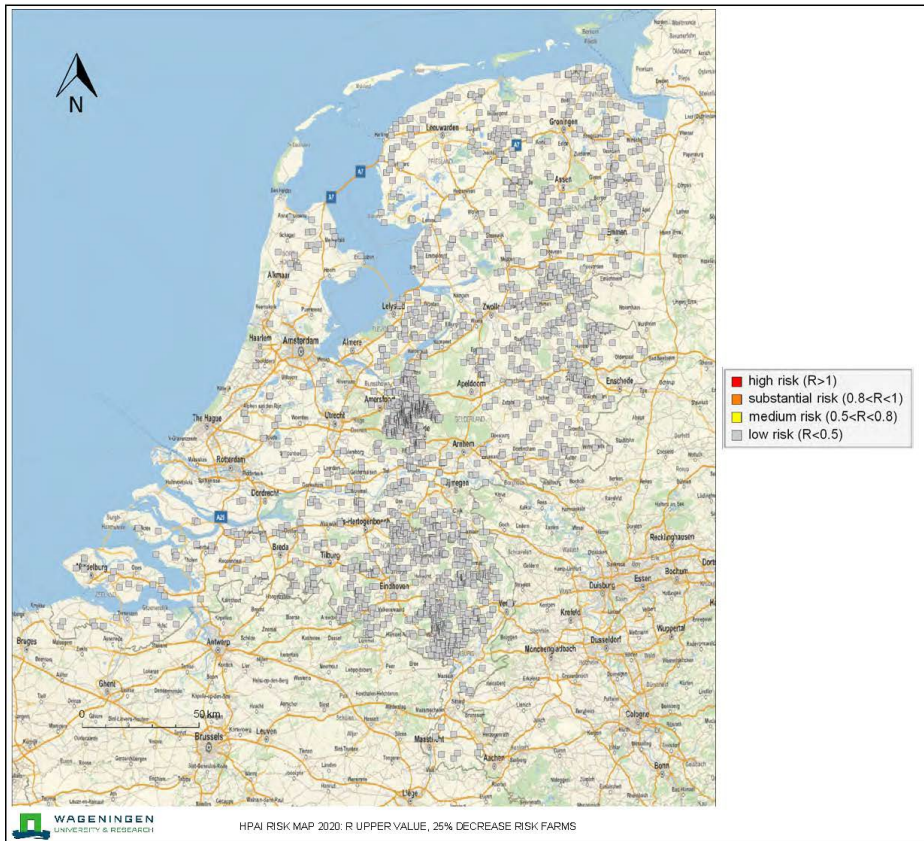
Scenario	HPAI #R_h>1	HPAI #R_h>0.05	KVP #R_h>1	KVP #R_h>0.05
1 Huidig	0	1419	185	2949
2.1a 25% minder bedrijven, willekeurig	0	1251	54	2794
2.2a 25% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	797	0	2386
3a 25% minder dieren op elk bedrijf	0	1358	124	2817
2.1b 50% minder bedrijven, willekeurig	0	987	0	2561
2.2b 50% minder bedrijven, risicogebaseerd	0	218	0	1483
3b 50% minder dieren op elk bedrijf	0	1231	55	2596



Figuur B1.1a. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor huidige situatie, onder het 'R_n hoog' scenario, gebaseerd op een 50% hogere waarde voor de overall transmissieparameter.



Figuur B1.1b. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_n hoog' scenario.



Figuur B1.1c. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het 'R_h hoog' scenario.



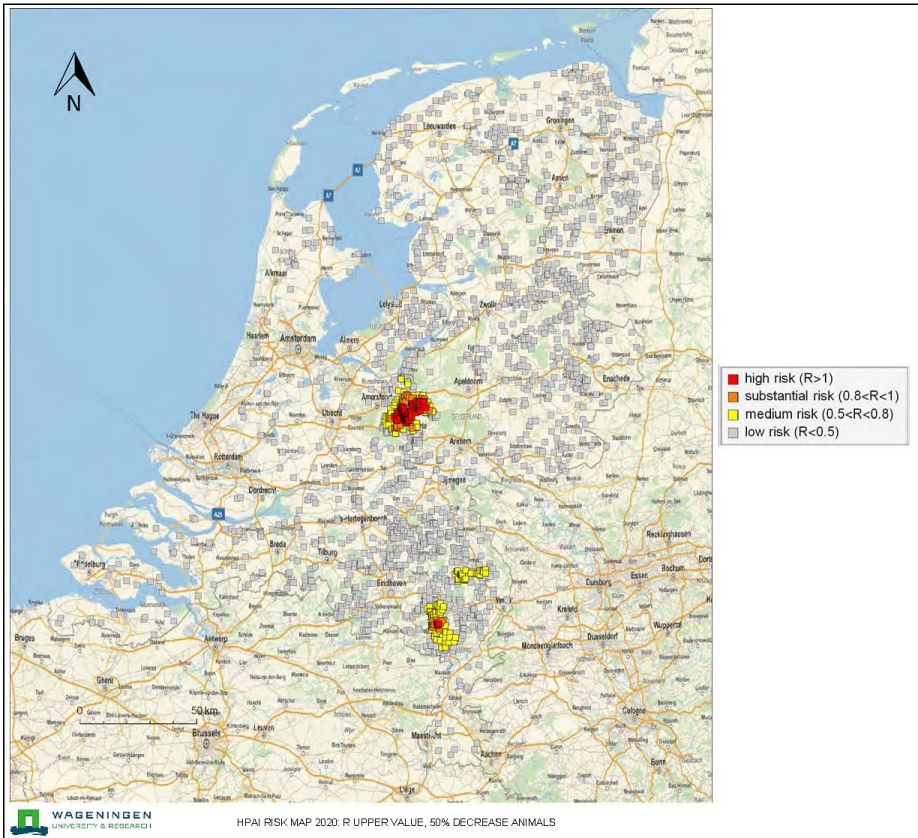
Figuur B1.1d. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h hoog' scenario.



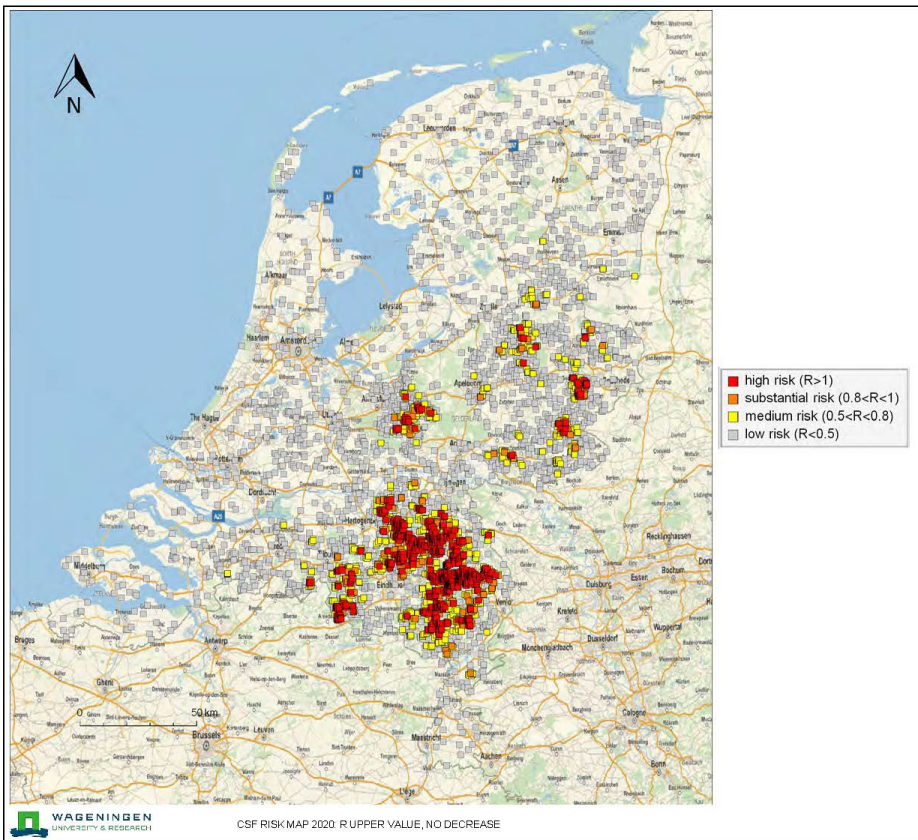
Figuur B1.1e. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_h hoog' scenario.



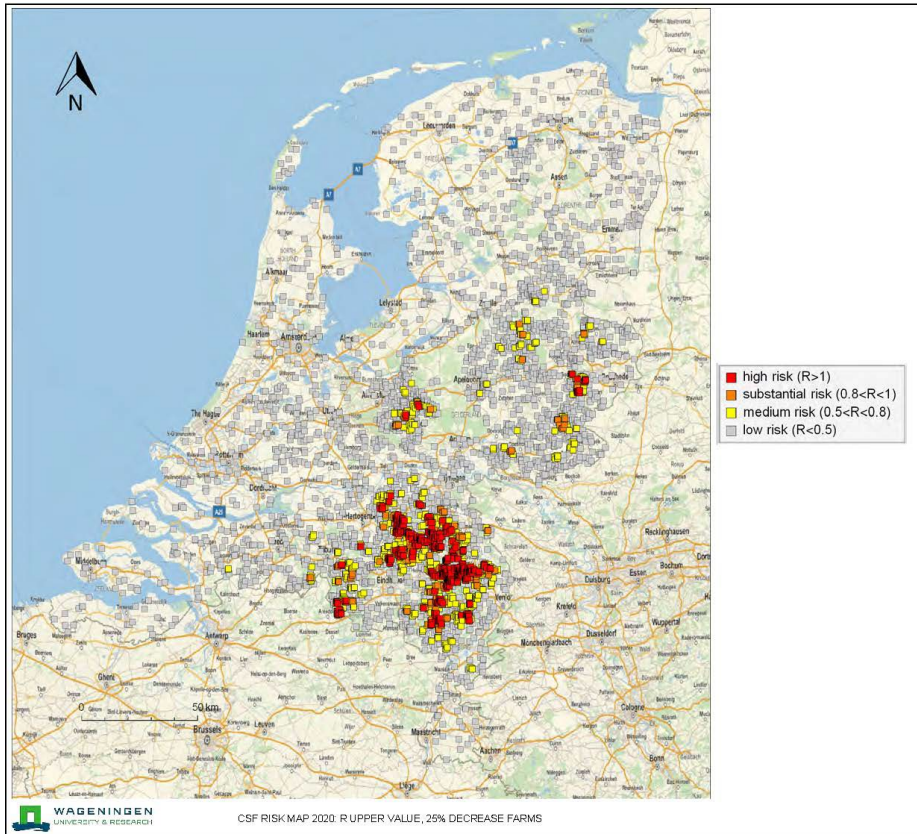
Figuur B1.1f. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het 'R_h hoog' scenario.



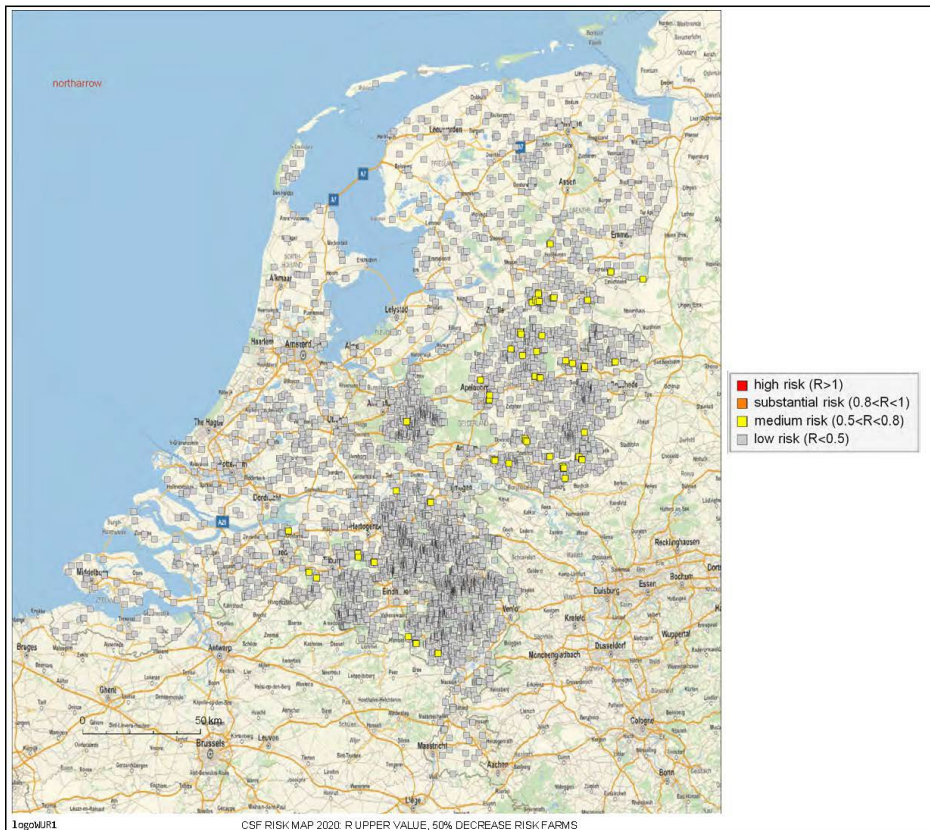
Figuur B1.1g. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h hoog' scenario.



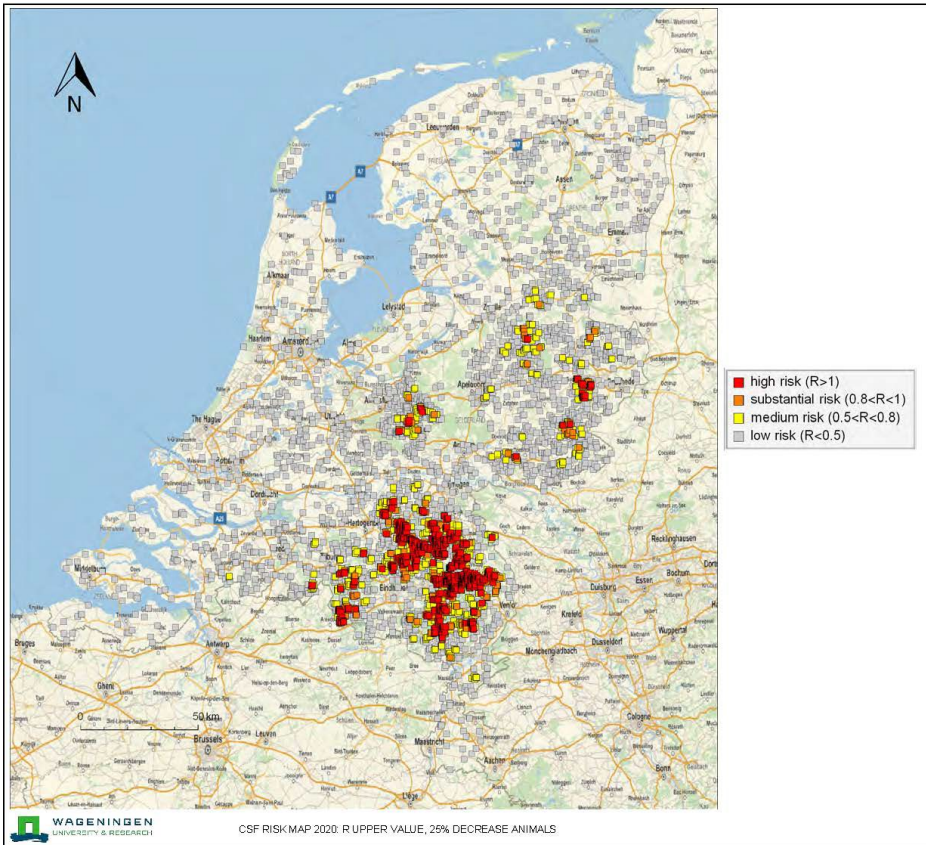
Figuur B1.2a. Risicokaart voor KVP in varkens voor huidige situatie, onder het 'R_h hoog' scenario.



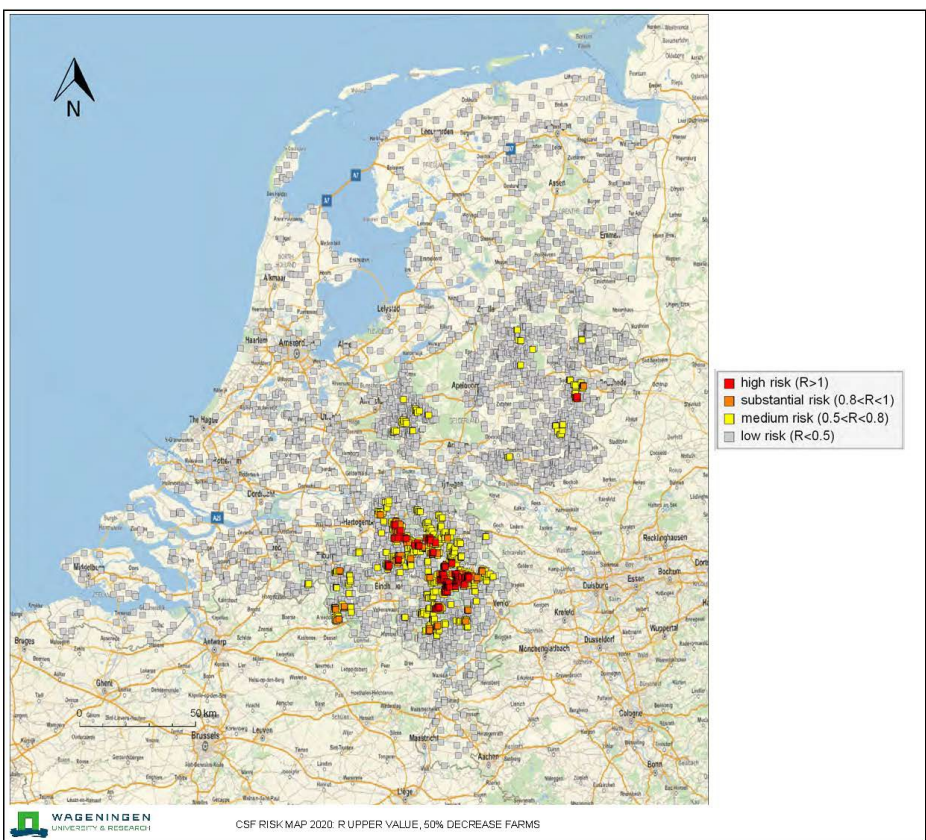
Figuur B1.2b. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_n hoog' scenario.



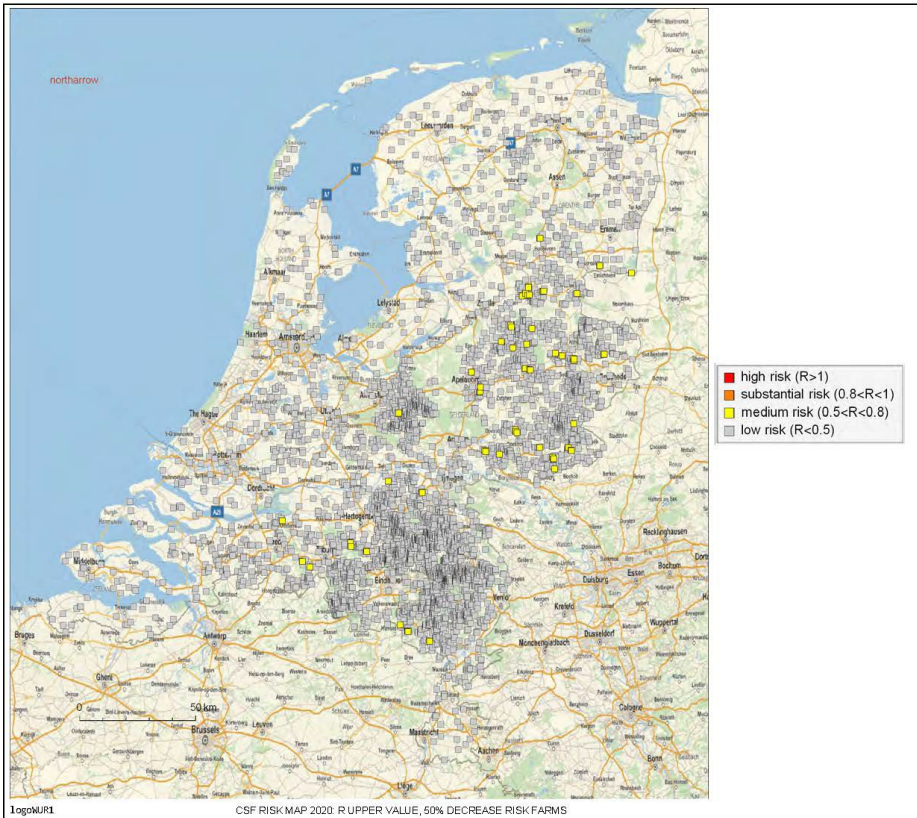
Figuur B1.2c. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het 'R_n hoog' scenario.



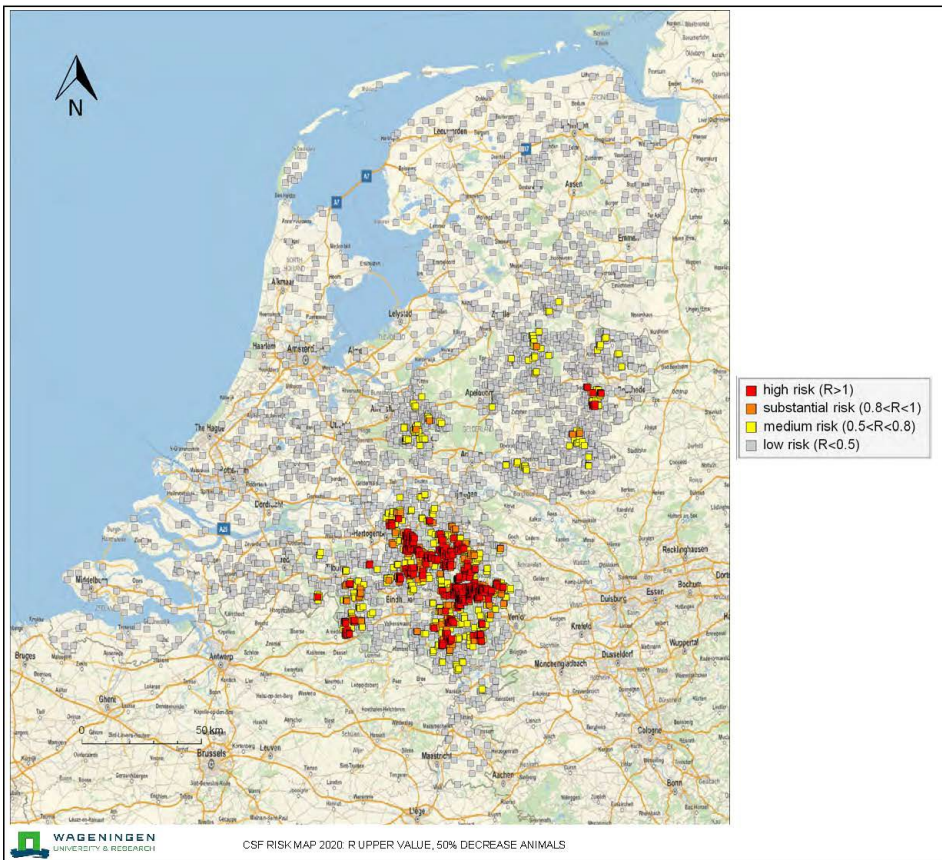
Figuur B1.2d. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h hoog' scenario.



Figuur B1.2e. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_h hoog' scenario.



Figuur B1.2f. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het 'R_h hoog' scenario.



Figuur B1.2g. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h hoog' scenario.



Figuur B1.3a. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor huidige situatie, onder het 'R_n laag' scenario, gebaseerd op een 25% lagere waarde voor de overall transmissieparameter.



Figuur B1.3b. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_n laag' scenario.



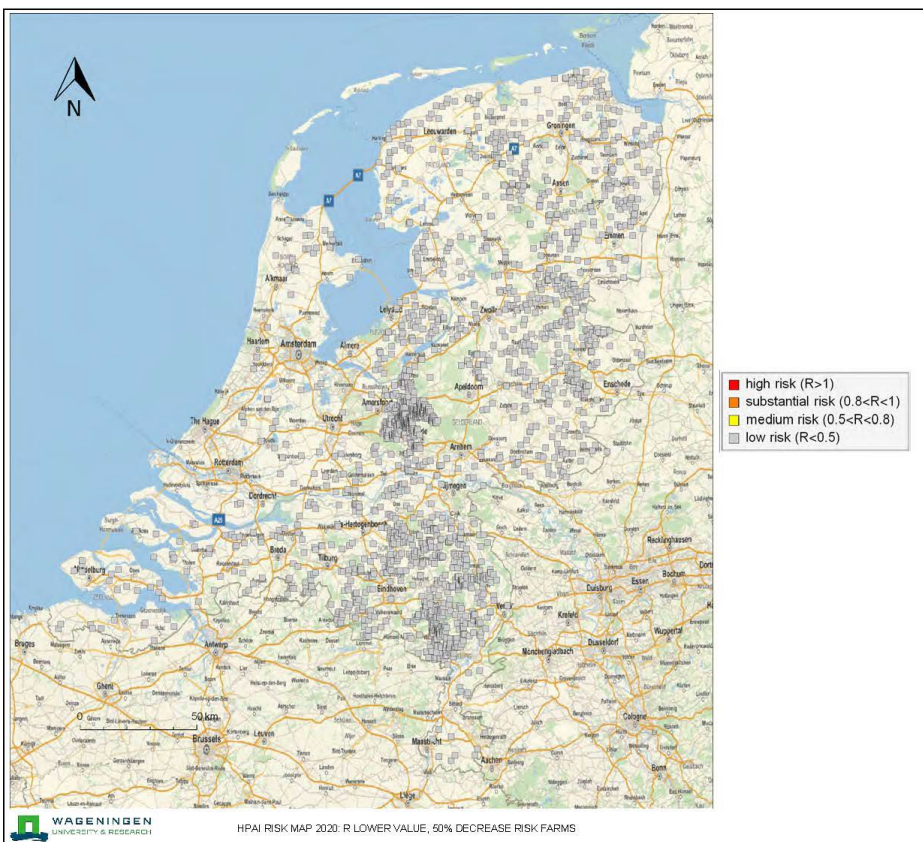
Figuur B1.3c. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het ' R_h laag' scenario.



Figuur B1.3d. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het ' R_h laag' scenario.



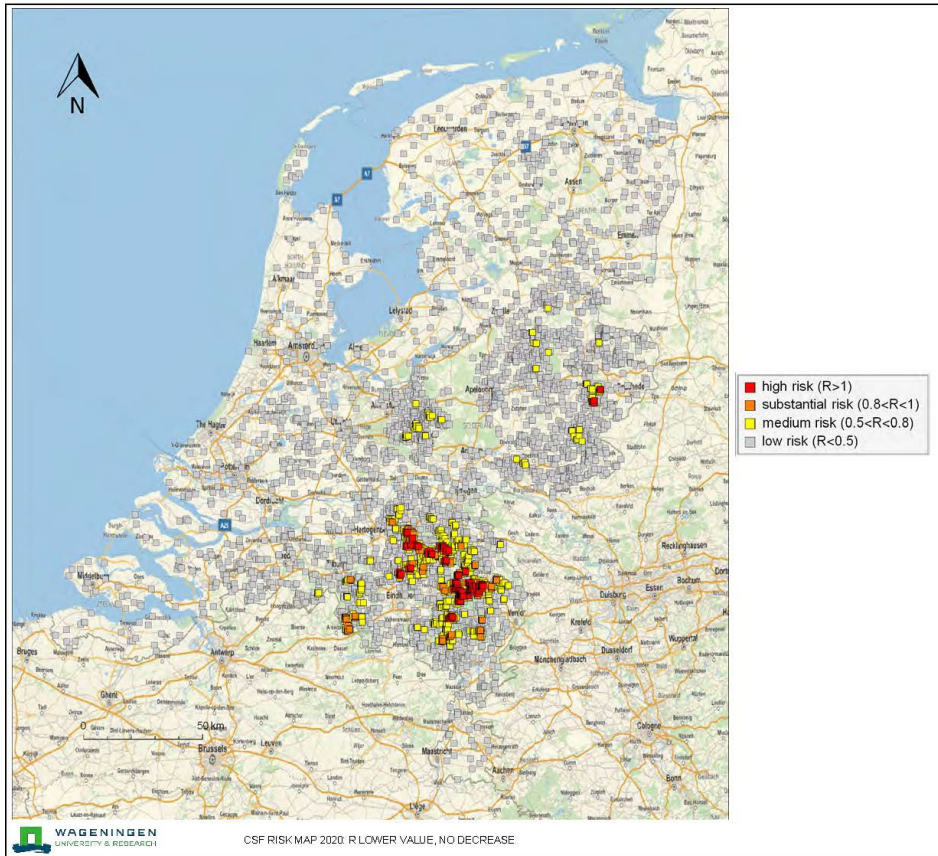
Figuur B1.3e. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het ' R_h laag' scenario.



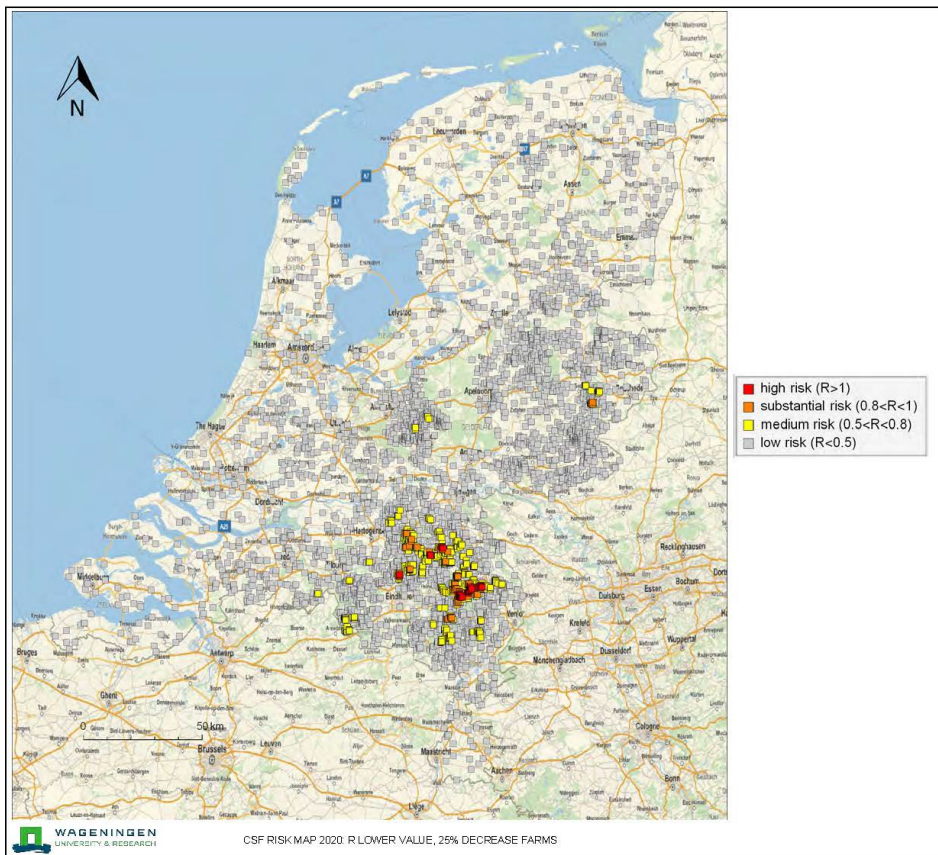
Figuur B1.3f. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het ' R_h laag' scenario.



Figuur B1.3g. Risicokaart voor HPAI in pluimvee voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het ' R_n laag' scenario.



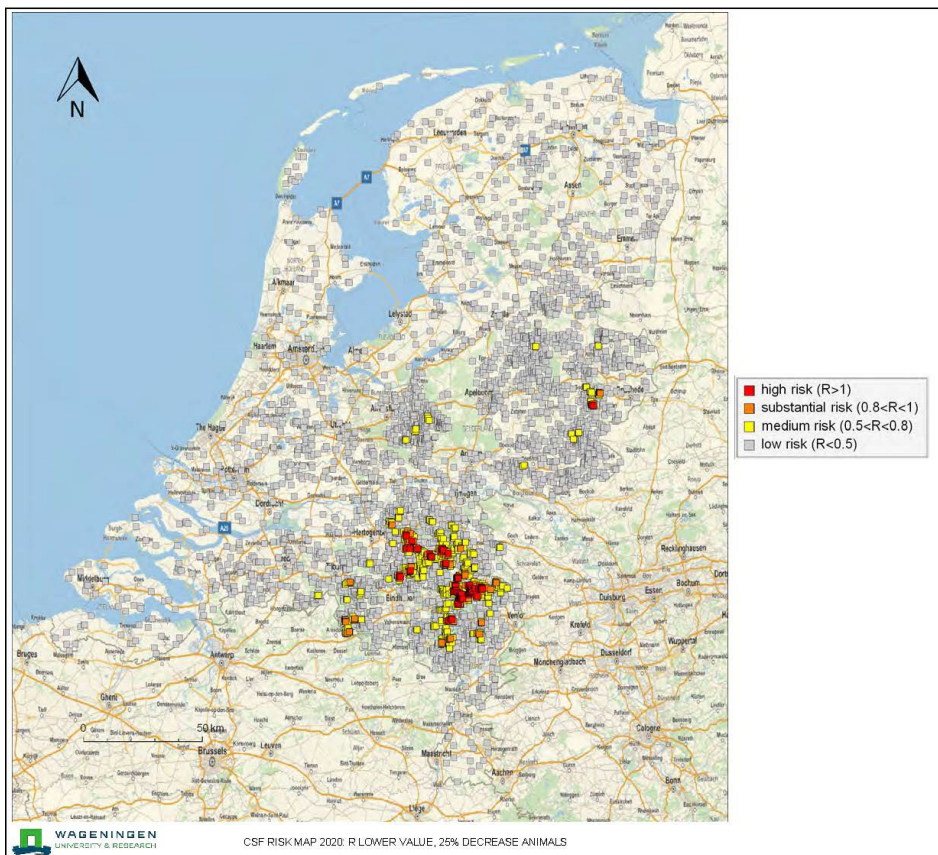
Figuur B1.4a. Risicokaart voor KVP in varkens voor huidige situatie, onder het 'R_h laag' scenario.



Figuur B1.4b. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1a '25% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_h laag' scenario.



Figuur B1.4c. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2a '25% minder bedrijven, risico-gebaseerd', onder het 'R_h laag' scenario.



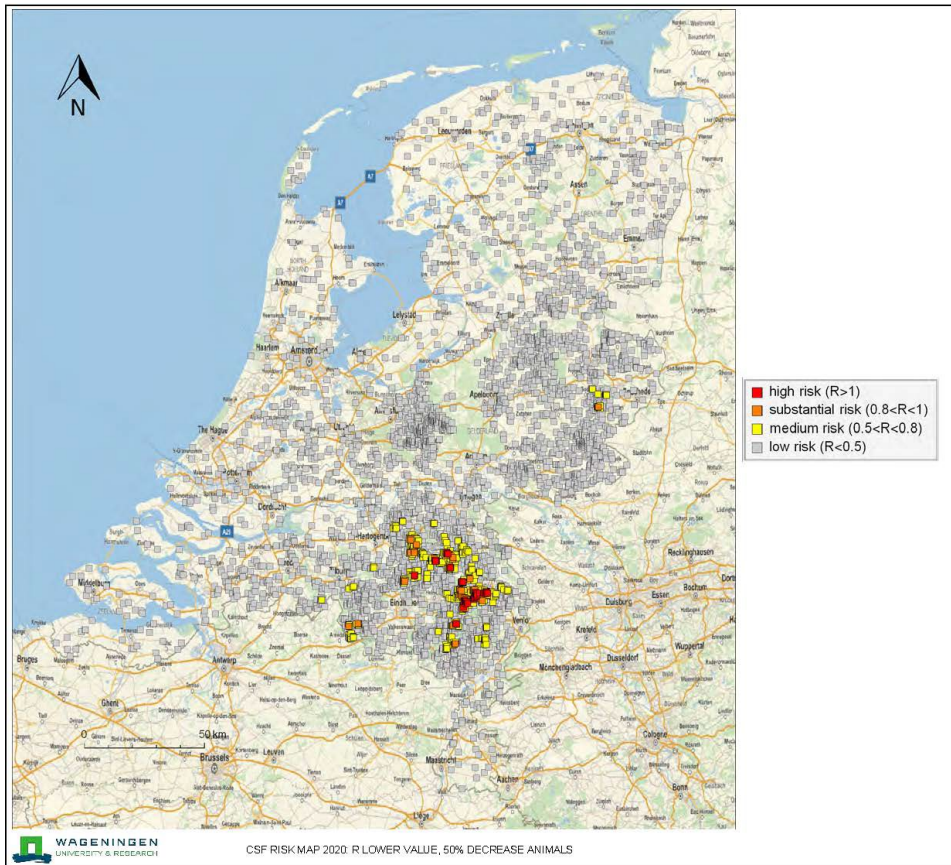
Figuur B1.4d. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3a '25% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h laag' scenario.



Figuur B1.4e. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.1b '50% minder bedrijven, willekeurig', onder het 'R_h laag' scenario.



Figuur B1.4f. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 2.2b '50% minder bedrijven, risicogebaseerd', onder het 'R_h laag' scenario.



Figuur B1.4g. Risicokaart voor KVP in varkens voor scenario 3b '50% minder dieren op elk bedrijf', onder het 'R_h laag' scenario.

Bijlage 2 Berekeningsdetails scenario's

Voor locaties in de risicoberekeningen is gebruik gemaakt van de RVO dataset van 2020. In de varkensdataset zijn 4092 locaties aanwezig. In de pluimvee dataset zijn 1932 locaties aanwezig waaronder 1199 legbedrijven (inclusief bedrijven met ouderdieren van vleeskuikens), 652 vleeskuikenbedrijven, 46 eendenbedrijven, en 35 kalkoenenbedrijven.

Met deze locaties en de betreffende kernel is voor elk van de twee dierziekten voor alle 21 scenario's voor elk bedrijf de R_h berekend. Per scenario is de gemiddelde R_h , de mediaan, 5 en 95 percentielen, en het aantal bedrijven met $R_h > 1$ uitgerekend.

Scenario	Omschrijving berekening
Huidig	Zie Bijlage 3
25% reductie, willekeurige bedrijven laten stoppen	Hier wordt voor elk bedrijf het gemiddelde effect op R_h berekend over oneindig veel willekeurige selecties van bedrijven die gaan stoppen. Met wiskunde is (eenvoudig) af te leiden dat dit overeenkomt met het vermenigvuldigen van de uitgangswaarde van R_h met 0.75.
50% reductie, willekeurige bedrijven laten stoppen	Komt overeen (zie hierboven) met het voor elk bedrijf vermenigvuldigen van de uitgangswaarde van R_h met 0.50.
25% reductie, risico-gebaseerde selectie van bedrijven die gaan stoppen	Hier wordt voor elk bedrijf het effect op zijn R_h berekend van het stoppen van zoveel hoogste- R_h bedrijven als nodig is om het totaal aantal dieren met 25% te reduceren.
50% reductie, risico-gebaseerde selectie van bedrijven die gaan stoppen	Hier wordt voor elk bedrijf het effect op zijn R_h berekend van het stoppen van zoveel hoogste- R_h bedrijven als nodig is om het totaal aantal dieren met 50% te reduceren.
Uniforme 25% reductie van de dieraantallen op alle bedrijven	Vermenigvuldiging van alle bedrijfsgroottes met 0.75 in de berekening van alle R_h .
Uniforme 50% reductie van de dieraantallen op alle bedrijven	Vermenigvuldiging van alle bedrijfsgroottes met 0.50 in de berekening van alle R_h .

Bijlage 3 Gebruikte modellen voor tussen- bedrijfstransmissie

Het model voor HPAI in pluimvee (KVP in varkens) bevat zeven (vier) parameters die gezamenlijk zijn geschat door het model te fitten aan de gegevens uit 2003 (1997/1998):

- Eén overall transmissieparameter, namelijk de amplitude van de '(transmissie)kernel'. De kernel modelleert de afstandsafhankelijke transmissiekans per dag tussen een bronbedrijf en een ontvangend bedrijf, in aanwezigheid van 'EU minimum maatregelen'. De kernel beschrijft de totale kans per dag op transmissie van alle mogelijke transmissieroutes samen, d.w.z. het model onderscheidt geen verschillende transmissieroutes. Omdat de 'EU minimum maatregelen' onder meer vervoersbeperkingen inhouden, beschrijft de transmissiekernel de transmissie tussen bedrijven in afwezigheid van diertransport tussen die bedrijven.
- Twee parameters voor de afstandsafhankelijkheid van de kernel ('vorm van de curve');
- Eén parameter voor de afhankelijkheid van bedrijfsgrootte. Deze parameter komt tweemaal met dezelfde waarde voor in het model: éénmaal voor de bedrijfsgrootteafhankelijkheid van de gevoeligheid van een ontvangend bedrijf, en éénmaal voor de bedrijfsgrootte-afhankelijkheid van de besmettelijkheid van een bronbedrijf. Een alternatief model met twee verschillende waarden voor deze parameter geeft geen betere fit. In de berekende bedrijfsgrootte van varkensbedrijven met biggen, worden de aantallen zeugen en biggen (en indien van toepassing aantallen vleesvarkens) bij elkaar opgeteld.
- Alleen voor HPAI in pluimvee: drie parameters die de transmissiematrix tussen verschillende bedrijfstypen bepalen.

Tenslotte wordt in de R_n berekening voor de risicokaart op elke bedrijfslocatie dezelfde lengte van de infectieuze periode (tijd tussen infectieus worden en geruimd worden van bronbedrijf) aangenomen, gelijk aan het gemiddelde over alle uitbraakbedrijven uit 2003 (7.5 dagen) resp. 1997/1998 (29.8 dagen) van de geschatte individuele infectieuze periodes van de uitbraakbedrijven.

Verdere details van het model voor HPAI in pluimvee

De kans per dag op transmissie tussen bronbedrijf (gelabeld met 1) met locatie (x_1, y_1) en ontvangend bedrijf (gelabeld met 2) met locatie (x_2, y_2) wordt gemodelleerd als de volgende kernel:

$$h(r_{12}, N_1, N_2, b_1, b_2) = M_{b_2 b_1} \frac{h_0}{1 + \left(\frac{r_{12}}{r_0}\right)^\alpha} \left(1 - \exp\left(-\frac{N_1}{\Phi}\right)\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{N_2}{\Phi}\right)\right),$$

$$r_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Hierin is r_{12} de rechte-lijnafstand tussen de twee bedrijven, N_1 de bedrijfsgrootte van het bronbedrijf, N_2 de bedrijfsgrootte van het ontvangende bedrijf, $M_{b_2 b_1}$ het element uit de transmissiematrix M behorend bij transmissie van een bronbedrijf met bedrijfstype b_1 en een ontvangend bedrijf met bedrijfstype b_2 , en Φ de parameter voor de afhankelijkheid van bedrijfsgrootte. h_0 is de amplitude van de kernel, α en r_0 de twee parameters voor de afstandsafhankelijkheid van de kernel. De matrix M heeft de volgende structuur:

$$M = \begin{pmatrix} g_B & g_B & g_B & g_B \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ g_D & g_D & g_D & g_D \\ g_T & g_T & g_T & g_T \end{pmatrix}$$

De drie parameters g_B, g_D en g_T kunnen worden geïnterpreteerd als de relatieve gevoeligheid van respectievelijk vleeskuiken-, eenden-, en kalkoenbedrijven, ten opzichte van leghennenbedrijven. De (absolute) besmettelijkheid en vatbaarheid van leghennenbedrijven zijn samen vervat in de amplitude h_0 .

De (maximum-likelihood) parameterwaarden en de 95%-betrouwbaarheidsgrenzen (berekend met likelihood-ratio test) zijn weergegeven in onderstaande tabel:

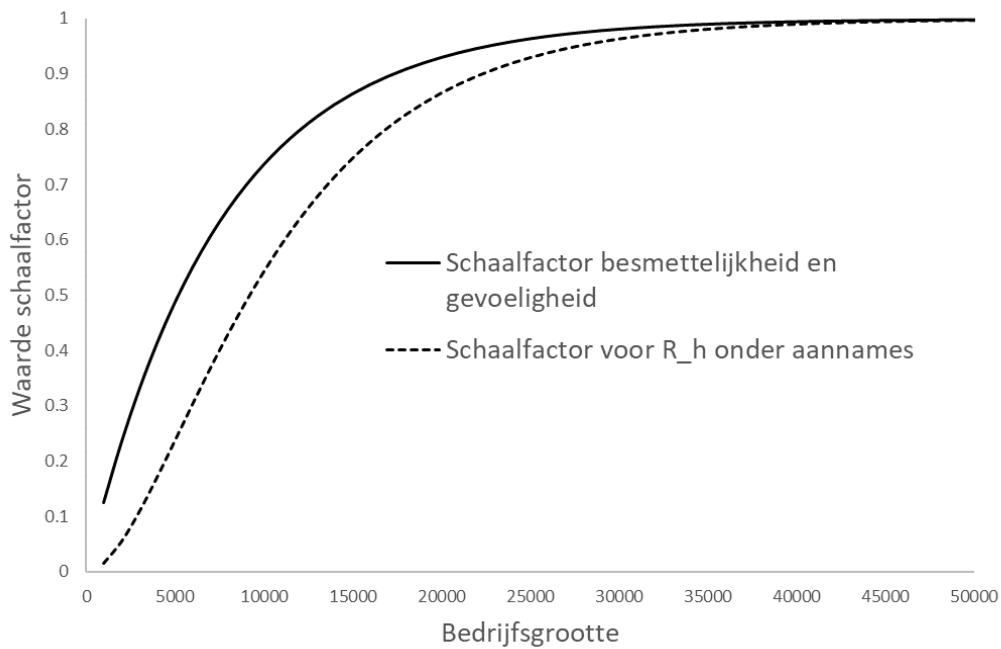
parameter	puntschatting	ondergrens	bovengrens	eenheid
h_0	0.00216	0.00120	0.00410	1/dag
α	2.20	1.87	2.63	n.v.t.
r_0	2.50	1.47	3.89	km
Φ	7490	4510	11900	n.v.t.
g_B	0.134	0.0414	0.322	n.v.t.
g_D	0.377	0.0929	0.999	n.v.t.
g_T	3.00	1.82	4.67	n.v.t.

Verdere details van het model voor KVP in varkens

Het model voor KVP in varkens is beschreven in Ref. [3]. De (maximum-likelihood) parameterwaarden en de 95%-betrouwbaarheidsgrenzen (berekent met likelihood-ratio test) zijn weergegeven in onderstaande tabel:

parameter	puntschatting	ondergrens	bovengrens	eenheid
h_0	0.0104	0.0060	0.0195	1/dag
α	2.18	2.06	2.32	n.v.t.
r_0	0.53	0.38	0.72	km
Φ	1156	795	1748	n.v.t.

Bedrijfs grootte en bedrijfstype zijn in de analyses van WBVR van de gegevens uit 2003 en 1997/1998 verwerkt door het boven beschreven model te fitten aan de gegevens. Deze 'fit' is een maximum-likelihood schatting van de parameters. Ook alternatieve vormen van de bedrijfs grootte-afhankelijkheid zijn gefit; het bovenstaande model was het beste model op basis van Akaike's Informatie Criterium. Ook voor de matrix M (HPAI in pluimvee) zijn op dezelfde manier verschillende vormen vergeleken. Een analyse van het effect van bedrijfs grootte op de reproductieratio is als volgt. Dit effect komt tot stand via de besmettelijkheid van het bronbedrijf (de schaalfactor $\left(1 - \exp\left(-\frac{N_1}{\Phi}\right)\right)$) en tegelijkertijd via de gevoeligheid van het ontvangende bedrijf (de schaalfactor $\left(1 - \exp\left(-\frac{N_2}{\Phi}\right)\right)$). In de figuur hieronder is de enkele schaalfactor $\left(1 - \exp\left(-\frac{N}{\Phi}\right)\right)$ weergegeven als getrokken lijn; dit is dus het effect van bedrijfs grootte op besmettelijkheid en gevoeligheid apart. Om een idee te krijgen van het gecombineerde effect op de reproductieratio: Veronderstel een gebied met bedrijven van identieke grootte N , zodat alle omliggende bedrijven van het bedrijf waarvoor we de reproductieratio berekenen dezelfde bedrijfs grootte hebben als dit bedrijf zelf. Dan wordt het effect van bedrijfs grootte N op de reproductieratio gegeven door de kwadratische schaalfactor $\left(1 - \exp\left(-\frac{N}{\Phi}\right)\right)^2$, weergegeven als gestreepte lijn in onderstaande figuur. Het is goed te zien dat beide curves sterk 'afplatten' voor actuele waarden van de gemiddelde bedrijfs grootte. In de dataset van 2021 (dit jaar is genomen ter vergelijking met het histogram voor 2021 hieronder) is de gemiddelde bedrijfs grootte van leghennenbedrijven ongeveer 44.000. Voor varkensbedrijven is dit in de dataset van 2020 ongeveer 2900. Dit gemiddelde ligt niet zoals bij pluimvee in het 'afgeplatte gedeelte', maar juist in het 'opgaande gedeelte' van de overeenkomstige curve(s) voor het effect van bedrijfs grootte voor KVP in varkens. Dit verklaart waarom de schaalvergroting bij varkens sinds 1997/1998 in tegenstelling tot die bij pluimvee/HPAI nog geen aanleiding geeft tot noemenswaardige reductie van berekende hoog-risicogebieden voor KVP in varkens. Dit verklaart ook waarom voor scenario 3 in Tabel 1 de mediaan voor KVP sterker afneemt dan voor HPAI. En dit verklaart ook dat het verschil in effectiviteit van de reductiescenario's 3 en 2.1 voor KVP in varkens veel minder groot is dan voor HPAI in pluimvee.



De vorm van de boven beschreven modellen correspondeert met de volgende aannames:

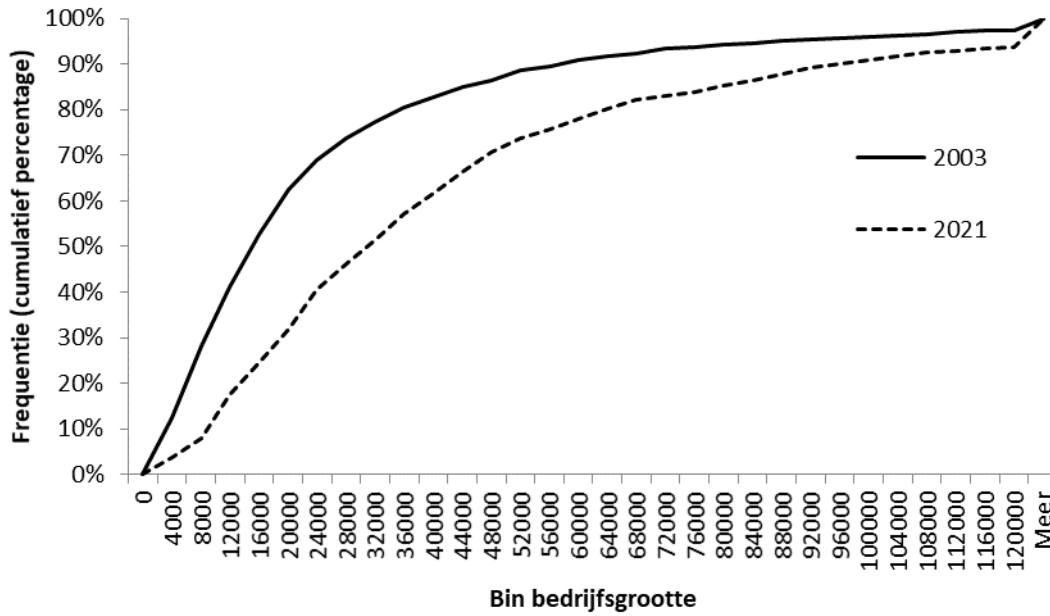
- Dat het transmissierisico tussen een bronbedrijf en een ontvangend bedrijf in essentie kan worden beschreven door het te laten afhangen van (alleen) de afstand tussen de bedrijven, de bedrijfstypen en bedrijfsgroottes. I.h.b. de veronderstelling dat dit risico onafhankelijk is van de richting waarin het ontvangende bedrijf t.o.v. het bronbedrijf ligt (aanname van isotropie).
- Dat de blootstelling van ontvangende bedrijven op een gegeven dag wordt bepaald door de besmettelijkheid van bronbedrijven op diezelfde dag. Er zijn modellen in ontwikkeling die deze veronderstelling loslaten om transmissie door de omgeving te beschrijven [4].
- Dat de modelparameters tijdsafhankelijk zijn, d.w.z. niet gedurende een epidemie, of gedurende de infectieuze periode van een bronbedrijf, veranderen.
- Dat de afstandsafhankelijkheid en bedrijfsgrootteafhankelijkheid factoren zijn die van elkaar onafhankelijk ('separabel') zijn. En dat ze beide ook separabel zijn van het effect van de bedrijfstypen.
- Dat de effecten van bedrijfstype van bronbedrijf en van ontvangend bedrijf in essentie beschreven kunnen worden door de specifieke vorm van de matrix M , met daarin drie parameters (vrijheidsgraden).

Meerdere van de bovengenoemde model-aannames worden gedaan omdat een meer genuanceerd model niet gerechtvaardigd blijkt op grond van de gebruikte epidemiologische gegevens. Bijvoorbeeld weerspiegelt de relatief eenvoudige vorm van de matrix M voor HPAI in pluimvee (met slechts drie vrijheidsgraden) dat de zeggingskracht van de gegevens uit 2003 over sommige mogelijke effecten van (combinaties van) bedrijfstypen zeer beperkt is. Zo is het vanwege het zeer beperkte aantal besmette vleeskuikenbedrijven niet mogelijk om een eventueel grotere relatieve besmettelijkheid van vleeskuikenbedrijven naar andere vleeskuikenbedrijven (in vergelijking met naar leghennenbedrijven) op te sporen.

In de toepassing op ('modelextrapolatie naar') 2021 wordt aangenomen dat de huidige transmissierisico's met het model uit die van 2003 of 1997/1998 kunnen worden afgeleid door in het model de huidige gegevens over de bedrijfslocaties, bedrijfstypen en bedrijfsgroottes in te vullen. Dat behelst:

- De veronderstelling dat de *afstandsafhankelijkheid zelf* van de transmissie niet beïnvloed wordt door de toename sinds 2003 of 1997/1998 van de gemiddelde afstand tussen bedrijven.
- De veronderstelling dat de *bedrijfsgrootte-afhankelijkheid zelf* van de transmissie niet beïnvloed wordt door de toename sinds 2003 of 1997/1998 van de gemiddelde bedrijfsgrootte. De onzekerheid vanwege deze aanname wordt hoger naarmate het percentage van de bedrijven dat in de dataset voor 2003 of 1997/1998 een bedrijfsgrootte had boven het gemiddelde van de actuele bedrijfsgroottes, lager wordt. Het histogram voor leghennenbedrijven hieronder laat zien dat voor 2021 dit percentage (nog) 15% is; d.w.z. 85% van de leghennenbedrijven had in 2003 een bedrijfsgrootte kleiner of gelijk aan 44.000.

Histogram bedrijfsgrootte leghennenbedrijven: 2021 vs. 2003



[4]. B.A.D. van Bunnik, A. Ssematimba, T.J. Hagenaars, G. Nodelijk, M.R. Haverkate, M.J.M. Bonten, M.K. Hayden, R.A. Weinstein, M.C.J. Bootsma, M.C.M. de Jong. (2014). Small distances can keep bacteria at bay for days. PNAS 111, 3556–3560.

Wageningen Bioveterinary Research
Postbus 65
8200 AB Lelystad
T 0320 23 82 38
info.bvr@wur.nl
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.