



Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: DUSTion van Serutech-Agri/Optiklep

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Jos Huis in 't Veld, Albert Winkel

RAPPORT 1216



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: DUSTion van Serutech-Agri/Optiklep

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Jos Huis in 't Veld, Albert Winkel

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2020

Rapport 1216

Ellen, H., Y. Goselink, J. Huis in 't Veld, A. Winkel, 2020. *Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: het DUSTion systeem van Serutech-Agri en Optiklep*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1216.

Om de blootstelling aan fijnstof in veehouderijgebieden te verlagen zijn technieken nodig die de emissie uit pluimveestallen kunnen verminderen. In deze pilot zijn metingen verricht aan het DUSTion systeem van de firma's Serutech-Agri en Optiklep, geïnstalleerd in een vleeskuikenstal. In afwijking van de meetprotocollen is er in de zogenaamde "fijnstof pilots" aan één (in plaats van twee) bedrijfslocaties gemeten. Uit de metingen blijkt dat het systeem de emissie van fijnstof (PM₁₀) met gemiddeld 62% vermindert.

To mitigate the concentrations of fine particulate matter in livestock farming areas, techniques are needed which reduce emissions from poultry barns. In this pilot study, measurements were carried out on the DUSTion system of the companies Serutech-Agri and Optiklep, installed inside a broiler barn. In deviation from the measurement protocols, the so called "fine dust pilots" included one (instead of two) farm locations. The measurements show that the system reduces the emission of fine particulate matter (PM₁₀) with 62%.

Dit rapport is gratis te downloaden op DOI: <https://doi.org/10.18174/518134> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2020 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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 Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.
Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1216

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving	9
	1.2 Aanleiding	9
	1.3 Afbakening en doelstelling	10
	1.4 Opzet rapport	10
2	Materiaal en methoden	11
	2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe	11
	2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie	12
	2.3 Meetstrategie	12
	2.4 Meetmethoden	14
	2.4.1 Fijnstof (PM10)	14
	2.4.2 Ventilatie-debiet	15
	2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	15
	2.4.4 Productiegegevens	15
	2.5 Dataverwerking en analyse	15
	2.5.1 Berekening ventilatie-debiet	15
	2.5.2 Berekening fijnstofemissie	16
	2.5.3 Berekening eindreductiepercentage fijnstofemissie met bandbreedte	16
	2.5.4 Statistische analyses	17
3	Resultaten	19
	3.1 Meetomstandigheden	19
	3.2 CO ₂ -concentratie en ventilatie-debiet	21
	3.3 Concentratie, emissie en reductie PM ₁₀	22
4	Discussie	25
5	Conclusie en advies	31
	Literatuur	32
	Bijlage 1 Beschrijving stal	34
	Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden	39
	Bijlage 3 Overzicht alle meetdata	40
	Bijlage 4 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530	41
	Bijlage 5 Kalibratie meetapparatuur	42
	Bijlage 6 Concept BWL-beschrijving	43

Woord vooraf

In de zoektocht voor pluimveebedrijven naar de mogelijkheden om de emissie van fijnstof (PM_{10}) uit stallen terug te dringen is in de Regio Foodvalley een project bestaande uit een achttal pilots gestart. In de pilots kregen leveranciers van nieuwe technieken of stalsystemen de mogelijkheid om metingen te laten uitvoeren naar de effectiviteit daarvan. De pilots werden uitgevoerd onder de verantwoordelijkheid en organisatie van het Praktijkcentrum Emissiereductie Veehouderij (PEV). Pluimveehouders stelden voor de pilots hun stal beschikbaar als proeflocatie. Wageningen Livestock Research, tenslotte, leverde de wetenschappelijke kennis rondom veehouderijemissies en reductietechnieken, en voerde de metingen in de proefstallen uit. In dit rapport zijn de resultaten van de metingen aan een van de door het PEV geselecteerde technieken weergegeven. We willen de medewerkers van het PEV, het projectteam, de leverancier en de pluimveehouder bedanken voor de fijne en constructieve samenwerking bij de uitvoering van de metingen.

De auteurs

Samenvatting

Aanleiding en doel

In sommige gebieden in Nederland, zoals in de Foodvalley regio, vormen pluimveestallen een belangrijke emissiebron van fijnstofdeeltjes (PM₁₀) in de buitenlucht die geassocieerd worden met gezondheidseffecten bij mensen. In deze pilot is onderzocht in welke mate het DUSTion systeem van de firma's Serutech-Agri en Optiklep in staat is om de emissie van fijnstof uit vleeskuikenstallen te reduceren. Op basis van dit meetrapport kan de techniek worden opgenomen in nationale of regionale regelgeving met een (voorlopig) reductiepercentage voor fijnstof. Ondernemers in de veehouderij kunnen deze techniek vervolgens aanwenden op hun bedrijf om de belasting van de omgeving met fijnstof te verlagen.

Fijnstofreductiesysteem en proefstal

Het DUSTion systeem van Serutech-Agri en Optiklep bestaat uit een hoogspanningsgenerator gekoppeld aan coronadraden in de vorm van prikkeldraad. De draden worden op 40 cm afstand langs het plafond van de stal gespannen. Op de draden staat een spanning van -30 kV met een stroomsterkte van maximaal 5 mA. Per m² staloppervlak wordt minimaal 0,58 m draad aangebracht. Het fijnstof in de omgeving van de draden wordt geïoniseerd en hecht zich aan geaarde oppervlakken in de stal zoals het plafond. Het systeem was geïnstalleerd in een moderne vleeskuikenstal met 8.500 vleeskuikens (zonder gebruik overdekte uitloop, 11.000 met gebruik overdekte uitloop) en een productieperiode van 56 dagen.

Meetstrategie en meetmethoden

In dit onderzoek is een zogenaamde "case-control strategie in de tijd" gehanteerd. Dit betekent dat het systeem in principe de gehele productieperiode aan stond maar dat er tijdens elke meting eerst 24 uur gemeten werd met het systeem aan (case), gevolgd door een tweede periode van 24 uur terwijl het systeem uitgeschakeld was (control). Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland en in het internationale VERA collectief. Deze meetprotocollen zijn zo veel mogelijk gevolgd. In afwijking van de protocollen is er o.a. op één i.p.v. twee bedrijfslocaties gemeten. De metingen werden ongebalanceerd gespreid over de productieperiode: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus. Tevens werd geprobeerd de metingen zo goed mogelijk te spreiden over het jaar. De metingen betroffen: temperatuur en relatieve vochtigheid, CO₂-concentratie (t.b.v. het berekenen van het ventilatiedebiet middels de CO₂-balansmethode) en concentratie van PM₁₀. Uit de combinatie van ventilatiedebiet en PM₁₀-concentratie is de PM₁₀-emissie berekend.

Resultaten

In totaal werden zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes gebruikt konden worden voor het bepalen van het reductiepercentage. Uit de statistische analyse bleek dat de staltemperatuur gemiddeld een halve graad Celsius verschilde en het ventilatiedebiet niet significant verschilde tussen case- en controledagen wat duidt op een zuivere vergelijkingsbasis. De emissie van PM₁₀ werd significant verlaagd met gemiddeld 62%.

Conclusie

Het DUSTion systeem van de firma's Serutech-Agri en Optiklep is in staat de emissie van PM₁₀ in vleeskuikenstallen te reduceren. Op grond van zes metingen aan één vleeskuikenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt deze reductie gemiddeld 62%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. Rekening houdend met een onzekerheidsmarge van 10 procentpunten vanwege het meten op slechts één bedrijfslocatie, is het advies om een reductiepercentage op te nemen van 52%.

1 Inleiding

1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving

Fijnstof, oftewel PM₁₀ is een verzamelnaam voor vaste en vloeibare deeltjes kleiner dan 10 micrometer¹ die zwevend in de lucht aanwezig zijn (EN 12341:2014; CEN, 2014). Na inademing kunnen deze zeer kleine deeltjes tot diep in de luchtwegen doordringen. Ze kunnen negatieve gezondheidseffecten veroorzaken, zoals een verhoogd risico op het ontstaan en verergeren van aandoeningen aan luchtwegen, longen, hart en bloedvaten. Fijnstof in de buitenlucht is verantwoordelijk voor circa 4% van de totale ziektelast. Na roken (13%) behoort luchtverontreiniging daarmee tot één van de belangrijkste risicofactoren (Gezondheidsraad, 2018). Fijnstof is afkomstig van natuurlijke bronnen (zoals bosbranden, winderosie en zeezoutdeeltjes) en van antropogene bronnen zoals het verkeer en transport, de industrie en de agrarische sector. De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn 2008/50/EG bevat grenswaarden voor o.a. fijnstof in de buitenlucht. De daggemiddelde concentratie mag maximaal 50 µg/m³ bedragen waarbij er jaarlijks maximaal 35 overschrijdingsdagen zijn toegestaan. Daarnaast mag de concentratie van fijnstof jaargemiddeld maximaal 40 µg/m³ bedragen. De World Health Organization hanteert een Air Quality Guideline limiet van jaargemiddeld een aanzienlijk lagere 20 µg/m³ (WHO, 2005). Er bestaat echter geen drempelwaarde voor de effecten van fijnstof, d.w.z. iedere in de lucht aanwezige microgram fijnstof is slecht voor de gezondheid.

De concentratie en samenstelling van fijnstof in de buitenlucht varieert van moment tot moment (temporele variatie) en van plek tot plek (spatiele variatie). In stedelijke gebieden kan circa tweederde van het in de buitenlucht aanwezige antropogene fijnstof afkomstig zijn van de uitstoot van verkeer en transport, terwijl in het agrarische buitengebied circa de helft van het in de lucht aanwezige antropogene fijnstof afkomstig kan zijn van stalemissies en landbouw (Hendriks et al., 2013). Stallen voor pluimvee, varkens en runderen vormen – na het verkeer en de industrie – de derde emissiebron van fijnstof in Nederland (Winkel et al., 2016). Deze deeltjes ontstaan in stallen vooral uit mest, veren, huid/haren, voer en stro(oisel) (Aarnink et al., 2011). Stalstof verschilt van stedelijk of industrieel stof doordat het van biologische origine is en rijk is aan micro-organismen en resten daarvan, zoals endotoxinen² (Winkel et al., 2014). In Nederland is in de afgelopen jaren daarom gericht onderzoek gedaan naar de gezondheid van omwonenden van veehouderijen die blootstaan aan deze deeltjes. Dit betroffen achtereenvolgens de onderzoeksprojecten “Intensieve Veehouderij en Gezondheid” (Heederik en IJzermans, 2011), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden” (Maassen et al., 2016), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden II” (Hagenaars et al., 2017), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden III (IJzermans et al., 2018) en “Risicomodellering Veehouderij en Gezondheid” (Heederik et al., 2019). Uit deze onderzoeken blijkt dat de blootstelling aan stalstof en het endotoxine daarin geassocieerd is met minder atopie (gevoeligheid voor allergie). Aan de andere kant is de blootstelling geassocieerd met meer klachten en meer medicijngebruik bij omwonenden met COPD³, meer longontstekingen, meer klachten van de luchtwegen en een verlaagde longfunctie.

1.2 Aanleiding

In de Foodvalley regio, een regio van acht gemeenten⁴ met samen circa 350.000 inwoners, komen relatief hoge concentraties voor van fijnstof, ammoniak (NH₃) en geur door de aanwezigheid van veel veehouderijbedrijven. Naar aanleiding van de resultaten van de hiervoor genoemde onderzoeken naar de effecten van veehouderijen op de gezondheid van omwonenden zijn in de Regio Foodvalley afspraken gemaakt tussen regionale overheden en de veehouderijsector om de bijdrage van de

¹ Eén micrometer (µm) is gelijk aan één duizendste millimeter, 10 µm is gelijk aan een honderdste millimeter.

² Endotoxinen zijn celwanddelen van Gram-negatieve bacteriën die sterk ontstekingsbevorderend zijn.

³ COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease = Chronische Obstructieve Long Aandoeningen.

⁴ De acht gemeenten in de Foodvalley regio zijn: Barneveld, Ede, Nijkerk, Rhenen, Renswoude, Scherpenzeel, Veenendaal en Wageningen.

veehouderij op de luchtkwaliteit in de regio te verminderen. Deze samenwerking is vastgelegd in het Manifest Gezonde Leefomgeving Veehouderij (GLV). De afspraken in het Manifest omvatten grofweg twee sporen:

- Bestuurlijk: optimalisatie/kansen benutten binnen vergunningverlening, scenarioberekeningen, afstemming en aanpassing regelgeving rijksoverheid.
- Praktijk: kennis verzamelen en delen over emissiereducties van technieken en stalsystemen, innovaties bevorderen en faciliteren, meetmethodes en -strategieën testen en verbeteren.

Binnen de 'praktijk-route' is het Praktijkcentrum Emissiereductie Veehouderij (PEV) opgericht waarmee de betrokkenen van het Manifest GLV versneld willen werken aan het ontwikkelen en praktijkrijp brengen van haalbare en betaalbare emissie reducerende technieken en stalsystemen die nog niet beschikbaar zijn in de Lijst Emissiefactoren fijnstof voor veehouderij (Rijksoverheid, 2018).

Hoewel het PEV zich wil richten op het verminderen van emissies van alle vormen van luchtverontreiniging uit stallen, is er in eerste instantie gekozen om de aandacht te richten op technieken die de emissie van fijnstof reduceren. Hiertoe is een traject opgestart waarbij innoverende leveranciers van technieken hun systeem aan konden melden met daarbij relevante informatie over o.a. het werkingsprincipe, het verwachte reductiepercentage en de jaarkosten voor veehouders. Via een selectieprocedure zijn acht technieken geselecteerd die op veehouderijbedrijven zijn geïnstalleerd om het effect daarvan op de emissie van PM₁₀ vast te stellen. In dit rapport wordt van één van deze technieken het resultaat van de metingen gepresenteerd.

1.3 Afbakening en doelstelling

Dit meetrapport bevat de resultaten van de emissiemetingen gedaan in de pilot met het DUSTion systeem van de firma's Serutech-Agri en Optiklep, geïnstalleerd in een vleeskuikenstal. Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2011) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018a). In de pilots is op een aantal punten afgeweken van deze protocollen om met beperkte inspanningen en kosten toch een goede eerste indruk te krijgen van het reductiepotentieel van een techniek. De onzekerheden die de omissies t.a.v. de protocollen met zich meebrengen worden in de discussie van dit rapport beoordeeld. Op basis van dit meetrapport kan de techniek worden opgenomen in nationale of regionale regelgeving met een (voorlopig) reductiepercentage voor fijnstof. Ondernemers in de veehouderij kunnen deze techniek vervolgens aanwenden op hun bedrijf om de belasting van de omgeving met stalstof te verlagen.

1.4 Opzet rapport

Zoals gebruikelijk in een meetrapport wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de toegepaste materialen en methoden. Daarbij wordt eerst de techniek waar de metingen zich op richtten beschreven, samen met het werkingsprincipe. Daarna volgt een korte beschrijving van de stal waarin de techniek is toegepast. Tot slot worden de gebruikte meetmethoden en de meetstrategie beschreven en de verwerking van de meetgegevens. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de metingen gepresenteerd, waarna in hoofdstuk 4 een discussie volgt over de aspecten die mogelijk van invloed zijn geweest op de techniek en over in hoeverre de resultaten gebruikt kunnen worden voor opname in de (nationale) regelgeving. De conclusie naar aanleiding van de discussie volgt daarna in hoofdstuk 5.

2 Materiaal en methoden

2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

De DUSTion van de firma Serutech Agri maakt gebruik van negatieve ionisatie. De DUSTion bevat coronadraden (prikkelraad) waar een negatieve hoogspanning op wordt gezet. Op deze prikkelraad wordt een spanning gezet van -30 kV met een lage stroomsterkte van maximaal 5 mA (Amperage) door middel van een regelbare hoogspanningsgenerator. Het fijnstof in de omgeving van de prikkeldraden wordt door de spanning geïoniseerd en slaat neer op gearde oppervlakten in de stal. (Serutech Agri, 2019). De coronadraden worden opgehangen op een afstand van 40-45 cm tot het plafond (dit is afhankelijk van de eventueel al aanwezige ophangprofielen voor andere installaties in de stal).

Figuur 2.1-A geeft een specificatie van de DUSTion unit (Serutech en Optiklep, 2019). Figuur 2.1-B geeft een weergave van de techniek zoals toegepast in de proefstal waarin is gemeten.

In bijlage 7 is een concept van de beschrijving opgenomen, conform het format van de BWL-beschrijvingen voor reducerende technieken. Hierin zijn de belangrijkste elementen waaraan een stal uitgerust met deze techniek moet voldoen om een vergelijkbaar effect op de stofemissie te realiseren.

Componenten



DUSTion hoogspanningsgenerator



Isolator met veer



Ophangisolatoren



Hoogspanningskabel



Coronadraad

Product specificaties

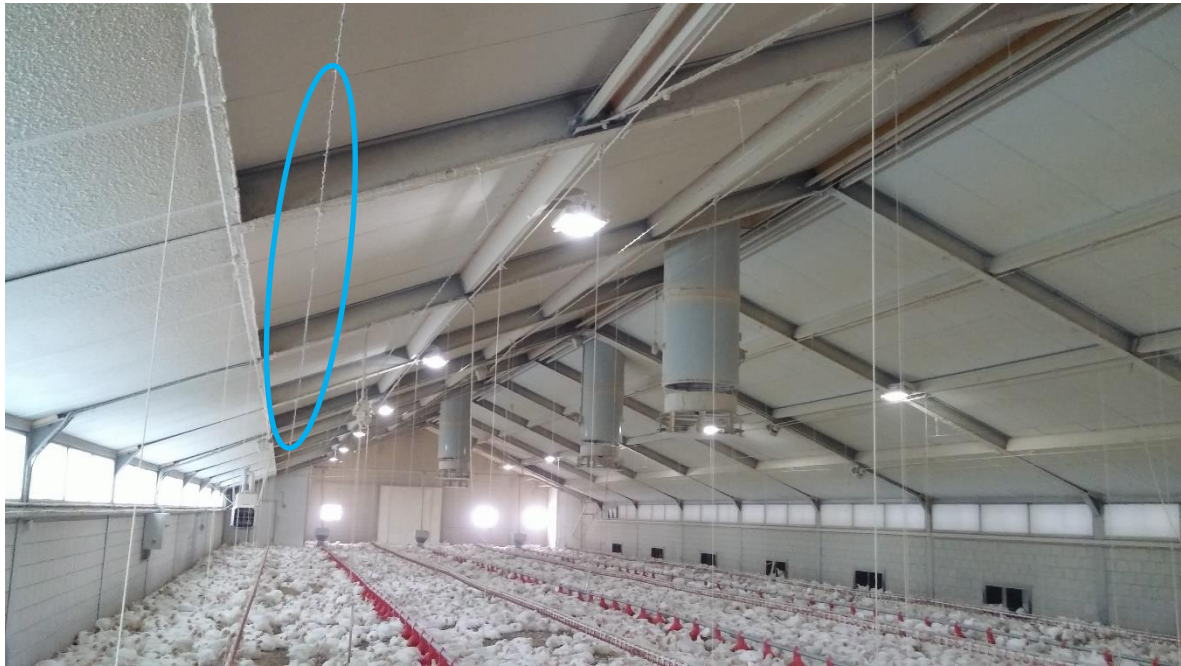
DUSTion hoogspanningsgenerator

Ingangsspanning:	90-250 Volt AC – 50/60 Hz
Uitgangsspanning:	0-30 kilo Volt DC – 5 mA max.
Aansluitingen:	4 hoogspannings aansluitingen
Uitlezing:	Hoog contrast LED scherm Led indicatie hoogspanning AAN/UIT Led indicatie OVERLOAD
Bediening:	Stofdichte schakelaars op het front
Afmetingen:	315mm x 337 mm x 106mm

Verdere componenten

Isolator:	Lengte 540 mm voorzien van RVS Harpsluitingen
Veer:	Lengte 215 mm, RVS
Ophangisolatoren:	Lengte 400 mm voorzien van RVS Karabijnsluitingen
Hoogspanningskabel:	Flexibele kabel, doorsnede 5,2 mm / 60 kilo Volt max.
Coronadraad:	Gegalvaniseerd prikkelraad

Figuur 2.1-A Componenten en specificaties van het DUSTion systeem (Bron: Serutech-Agri en Optiklep, 2019).



Figuur 2.1-B Het DUSTion systeem in de stal waar is gemeten. Op de foto is één van de coronadraden blauw omcirkeld.

2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd in een stal voor vleeskuikens. De stal had een lengte van 45 m en een breedte van 16,5 m. In de stal werden kuikens van een trager groeiend ras gehouden. Voor de ventilatie van de stal werd gebruik gemaakt van een gelijkdrukstelsel: in de nok van de stal waren vijf ventilatoren aanwezig die verse lucht naar binnen bliezen, in de nok aan het eind van de stal waren drie drukventilatoren en in de eindgevel twee V-snaarventilatoren aanwezig die de stallucht afzogen. Er werd evenveel lucht ingeblazen als afgezogen. Voor de verwarming waren twee indirect gestookte heaters met ventilatoren aanwezig. Het ionisatie systeem bestond uit 10 coronadraden die, verdeeld over de breedte van de stal, in de lengte van de stal waren opgehangen op circa 40 cm onder het plafond. Gedurende het onderzoek is aan de zuidzijde van de stal een overdekte uitloop gerealiseerd. Tijdens de metingen is deze buiten gebruik gesteld. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, samen met enkele foto's, een stalplattegrond en een overzichtsfoto van het bedrijf. Op deze overzichtsfoto is te zien dat er in noordelijke richting ten opzichte van de gemeten stal, nog een ander stal op het bedrijf aanwezig is. Dit is ook een pluimveestal. In de verdere omgeving zijn diverse andere agrarische bedrijven aanwezig, waaronder pluimveebedrijven, en ten westen ligt de A30.

2.3 Meetstrategie

Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2011) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018a). Deze protocollen schrijven o.a. het volgende voor:

- een techniek moet op twee bedrijfslocaties worden getest om variatie in de prestatie van de techniek tussen bedrijven (t.g.v. ras, management, voeding, enzovoort) mee te nemen in het uiteindelijke reductiepercentage;
- de metingen dienen plaats te vinden in een proefstal versus een identieke referentiestal op hetzelfde bedrijf (een "case-control" strategie) of ná versus vóór een end-of-pipe-techniek zoals een filter;
- per bedrijfslocatie moeten er zes 24-uursmetingen uitgevoerd worden (totaal 12). Daarvan moeten tenminste vier metingen per bedrijfslocatie en tien in totaal betrouwbare resultaten opleveren. Door metingen over 24 uur uit te voeren wordt alle variatie die er binnen een dag optreedt meegenomen in de resultaten. De metingen moeten worden gespreid over het kalenderjaar en de

productieperiode van de dieren om ook variatie t.g.v. seizoenen en productiestadia van dieren mee te nemen in de resultaten;

- de emissie bestaat uit het product van ventilatiedebiet maal concentratie van een vervuilde stof. Het protocol schrijft zowel voor het meten van het ventilatiedebiet als voor het meten van concentraties een aantal wetenschappelijk valide meetmethoden voor. Voor pluimveestallen waar meerdere ventilatoren aanwezig zijn (wat het gebruik van meetwaaiers belemmert) is de CO₂-balansmethode een valide methodiek om het ventilatiedebiet te bepalen. Voor fijnstof schrijft het Nederlandse fijnstofprotocol een gravimetrische methode voor die geschikt is voor toepassing in een stofrijke stalomgeving;
- de bemeten stallen dienen te voldoen aan landbouwkundige randvoorwaarden, zie bijlage 2. Hierin staat opgenomen welke bedrijfsparameters tijdens het uitvoeren van de metingen dienen te worden geregistreerd en gerapporteerd, om naderhand te kunnen verifiëren of de metingen hebben plaatsgevonden onder representatieve omstandigheden.

Gezien de grote behoefte aan innovatieve technieken voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij is in de fijnstofpilots in de Foodvalley regio beoogd om op een relatief goedkope en eenvoudige manier snel inzicht te krijgen in het perspectief en de reductie van zulke technieken. Daarom zijn er in de pilots een aantal bewuste omissies gepleegd t.a.v. de methodologie. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

- a. de gemiddelde emissiereductie is vastgesteld door een meetserie van zes metingen op één bedrijfslocatie i.p.v. twee meetseries van in totaal twaalf metingen op twee bedrijfslocaties zoals het meetprotocol dit voorschrijft;
- b. Er is niet gemeten in een fysieke proefstal en een fysieke controlestal maar gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald
- c. de concentraties en emissies van fijnstof (PM₁₀) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO₂-balansmethode op grond van metingen van CO₂ in de stal (conform het meetprotocol) maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO₂ in de buitenlucht;
- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM₁₀) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

De metingen zijn ongebalanceerd gekozen over de groeironde. Dat wil zeggen: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus. Deze ongebalanceerde verdeling van metingen over de productieperiode is al opgenomen in het huidige ammoniak meetprotocol (Ogink et al., 2017), echter nog niet in het meest recente fijnstof meetprotocol van 2011.

Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes bruikbare resultaten opleverden. Metingen zijn uitgevoerd gedurende ca. 24 uur. Gedurende de onderzoeksperiode heeft de reducerende techniek in de stal normaal gesproken op 'aan' gestaan. Tijdens de eerste metingen is eerst 24 uur gemeten met de techniek aan, waarna aan het eind van de meting de techniek op 'uit' is gezet. Na een stabilisatieperiode van minimaal 24 uur is gedurende 24 uur gemeten met de techniek uit. In een later stadium zijn de case- en controledagen omgedraaid. De pluimveehouder heeft daarbij 24 uur voor de aanvang van de 'uit'-meting de techniek uitgeschakeld. Vervolgens is de 'uit'-meting gestart en heeft de pluimveehouder de techniek na 24 uur weer ingeschakeld waarbij de meting doorliep en overging in de 'aan'-meting. De 'aan'-meting is daarna minimaal 25 uur voortgezet, waarbij het eerste uur als een stabilisatieperiode werd gezien en niet is meegenomen in de verwerking van de data. Volgens de leverancier is een uur stabilisatieperiode tussen de uit- en de aan-meting voldoende om het effect van de ionisatie te kunnen meten. De reden voor deze wijziging in de meetstrategie was dat er bij de eerste metingen grote verschillen waren in buitenklimaat tussen case- en controledagen dat zich mogelijk vertaalt in verschillende ventilatiedebieten en daarmee een minder zuivere vergelijkingsbasis tussen de twee dagen. Om een reductie van de emissie zo zuiver mogelijk te kunnen toeschrijven aan de werking van de reducerende techniek zijn de meetdagen dicht bij elkaar gekozen; met een kleinere kans op grote verschillen in buitenklimaat.

Tijdens voornoemde meetdagen zijn de concentraties van fijnstof (PM₁₀) en koolstofdioxide (CO₂) gemeten, alsook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV). Met behulp van gasdetectiebuisjes (Kitagawa) is op iedere meetdag indicatief de ammoniakconcentratie gemeten. Er zijn geen concentraties van fijnstof, dan wel waarden van temperatuur en RV gemeten in de buitenlucht. Voor deze waarden is gebruik gemaakt van de dichtstbijzijnde meetstations van het KNMI (voor temperatuur en RV, locatie: de Bilt) en het RIVM (voor PM₁₀, locatie: Wekerom-Riemterdijk) voor dezelfde periode als de meetperioden. Voor de concentratie van CO₂ in de buitenlucht is een vaste waarde van 400 ppm genomen.

Voor het bepalen van de concentraties in de uitgaande luchtstroom is een positie gekozen zo dicht mogelijk bij de ventilatoren die zorgen voor de afvoer van de stallucht, zodanig dat de luchtsnelheid beneden 2 m/s bleef om niet-isokinetische condities (d.w.z. condities waarbij de luchtsnelheid in de stal en die van de sample flow te zeer uit de pas lopen en grotere deeltjes onder- of overbemonsterd worden) te voorkomen. Figuur 2.2 geeft de situatie in de bemeten stal weer van de meetpositie ten opzichte van de ventilatoren. Op de stalplattegrond in bijlage 1 is het meetpunt blauw omcirkeld.



Figuur 2.2 Plaats van de meting van de concentraties in de stal (nabij uitgaande nokventilatoren). De posities van 5 coronadraden zijn blauw omcirkeld.

2.4 Meetmethoden

Een omschrijving van het onderhoud en kalibraties van onderstaande instrumenten is te vinden in bijlage 5.

2.4.1 Fijnstof (PM₁₀)

De concentratie van fijnstof (PM₁₀; mg/m³) is in duplo gemeten met een DustTrak apparaat (DustTrak™ Aerosol Monitor, modellen 8520 en 8530, TSI Inc., Shoreview, USA; zie voor beide modellen figuur 2.3). De PM₁₀-concentratie werd elke seconde gemeten en als tweeminutengemiddelden gelogd in het geheugen van de DustTraks. De DustTraks geven een systematische onderschatting van de echte concentratie (zoals bepaald volgens CEN-EN 12341; Winkel et al., 2015a; Cambra-López et al., 2015). Daarom zijn de concentraties, zowel van proef- als referentieperioden, gecorrigeerd met een correctiefactor. Voor de metingen uitgevoerd met model 8520 is dat de factor 1,84 zoals gepubliceerd door Winkel et al. (2015a) en Cambra-López et al. (2015). Voor de metingen uitgevoerd met model 8530 is dat de factor 1,26 die door WLR is bepaald

op dezelfde wijze als is gedaan in Winkel et al. (2015a). De resultaten van de metingen die ten grondslag liggen aan deze correctiefactor staan in bijlage 4.



Figuur 2.3 Gebruikte DustTrak-modellen voor het meten van PM₁₀. Links model 8520, rechts model 8530.

2.4.2 Ventilatie-debiet

Ten behoeve van het vaststellen van het ventilatie-debiet is de concentratie van koolstofdioxide (CO₂) gemeten. Via de CO₂-balansmethode is het ventilatie-debiet bepaald. De CO₂-concentratie in de uitgaande stallucht is gemeten met behulp van een Testo CO₂-meter (Testo B.V.; Almere, Nederland; type 435, met IAQ-probe voor CO₂) of een Vaisala CO₂-sensor (Vaisala; Vantaa, Finland; CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252; type met meetbereik 0-5000 ppm).

2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Ter vastlegging van de meetomstandigheden werden temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten met een gecombineerde logger (Escort iLog; Askey dataloggers; Leiderdorp, Nederland).

2.4.4 Productiegegevens

Op iedere tweede dag van de metingen is de volgende informatie overgenomen van de hokkaart:

- aantal opgezette en aanwezige dieren;
- indien mogelijk: gemiddeld diergewicht (eventueel afgelezen waarde voor het betreffende productiestadium uit de productiegids van het merk dier);
- voerverbruik van de dieren;
- waterverbruik van de dieren;
- uitval;
- eventuele toediening van medicatie of additieven.

2.5 Dataverwerking en analyse

2.5.1 Berekening ventilatie-debiet

Voor het berekenen van het ventilatie-debiet per afzonderlijke meetdag is de CO₂-balansmethode gebruikt. Deze methode is gebaseerd op de rekenregels van de CIGR voor het bepalen van de CO₂-productie van de dieren (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Hiervoor wordt eerst de warmteproductie van de vleeskuikens als volgt berekend:

$$\Phi_{tot} = 10.62 m^{0.75}$$

waarbij:

- Φ_{tot} = totale warmteproductie per dier in W;
- m = gewicht van het dier in kg

De CO₂-productie werd vervolgens berekend met behulp van de volgende formule:

$$CO_2 - productie = \Phi_{tot} * 0.185$$

waarbij:

- CO₂-productie = productie van CO₂ in m³/uur per dier;
- 0.185 = waarde voor CO₂-productie per kW in m³/uur per dier.

Het ventilatiedebiet werd vervolgens berekend op basis van de volgende formule:

$$Q = \frac{CO_2 - productie}{([CO_2]_{stal} - [CO_2]_{buiten}) * 10^{-6}}$$

waarbij:

- Q = ventilatiedebiet in m³/uur per dier
- CO₂-productie = productie van CO₂ in m³/uur per dier;
- [CO₂]_{stal} = CO₂ concentratie in parts per million (ppm) gemeten bij het emissiepunt van de stal;
- [CO₂]_{buiten} = vaste waarde voor de concentratie van CO₂ van 400 ppm.

2.5.2 Berekening fijnstofemissie

Per afzonderlijke meetdag werd de emissie van PM₁₀ bepaald, d.w.z. zowel voor de 'referentiedagen' als de 'proefdagen' binnen de proefstal, op basis van de volgende formule:

$$E = Q * ([PM_{10}]_{stal} - [PM_{10}]_{buiten}) * 10^{-6} * 24 * 365$$

waarbij:

- E = emissie van PM₁₀ in g/jaar per aanwezig dier;
- Q = ventilatiedebiet in m³/uur per dier;
- [PM₁₀]_{stal} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;
- [PM₁₀]_{buiten} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, gemeten door het dichtstbijzijnde meetstation van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit voor dezelfde periode;
- 10⁻⁶ = conversiefactor van µg naar g;
- 24 = conversiefactor van uur naar dag;
- 365 = conversiefactor van dag naar jaar.

Er wordt in bovenstaande berekening geen rekening gehouden met de leegstand tussen productieperioden. Dit is wel nodig bij het berekenen van een absolute emissiefactor, maar niet in deze situatie voor het berekenen van een reductiepercentage.

2.5.3 Berekening eindreductiepercentage fijnstofemissie met bandbreedte

In de pilot was sprake van de volgende situatie:

- vleeskuikens met een exponentieel emissiepatroon;
- meetdagen die ongebalanceerd zijn gekozen over de groeironde. Dat wil zeggen: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus;
- op grond van het werkingsmechanisme van de techniek en eerdere metingen aan ionisatiesystemen bij vleeskuikens mag verwacht worden dat de reductie van de fijnstofemissie afneemt in de tijd (d.w.z. het voortschrijden van de groeiperiode). Dit kan worden veroorzaakt door toename van de hoeveelheid te ioniseren stof met de leeftijd van de dieren, toename van het ventilatiedebiet welke de constante ionenproductie verdunt, en toename van accumulatie van stof aan

collectoroppervlakken. Al deze factoren verminderen mogelijk de effectiviteit van het werkingsmechanisme.

Bij deze situatie is het invalide om de individuele reductiepercentages per meting (d.w.z. een set van een casedag en een controledag) zonder verdere bewerking te middelen tot een eindreductiepercentage. Dit omdat een individueel reductiepercentage nog niets zegt over de werkelijke hoeveelheid emissie welke wordt verminderd. Zo kan bijvoorbeeld een zeer hoog reductiepercentage van één individuele meting het eindreductiepercentage positief beïnvloeden, maar wanneer dit individuele reductiepercentage behaald werd bij een zeer lage emissie wordt daaraan een niet-representatief groot gewicht toegekend. De reductie van de techniek moet daarom worden bepaald over de emissies. Door eerst de emissies van casedagen en controledagen te middelen en vervolgens een eindreductiepercentage te berekenen over die twee gemiddelde emissiecijfers worden de individuele reductiepercentages gewogen naar rato van hun bijdrage aan de totale emissie.

Het is in dit geval echter eveneens invalide om emissies van casedagen en controledagen zonder verdere bewerking te middelen. Dit omdat metingen ongebalanceerd zijn uitgevoerd over de groeiperiode en er mogelijk effecten van tijd/dag in ronde bestaan op de reductie. Het zo verkregen reductiepercentage is dan niet representatief voor een groeiperiode als geheel.

In deze situatie is de volgende "getrapte" aanpak daarom valide:

1. de groeironde wordt verdeeld in drie gelijke opeenvolgende tijdvakken;
2. elke meting wordt toegewezen aan één van de drie tijdvakken waarin de meting plaatsvond;
3. per tijdvak wordt een tijdvakgemiddelde emissie berekend, zowel voor de emissie van de casedagen als voor de emissie van de controledagen;
4. de drie tijdvakgemiddelde emissies voor de casedagen en de drie tijdvakgemiddelde emissies voor de controledagen worden vervolgens gemiddeld tot overall gemiddelde emissies;
5. het reductiepercentage wordt vervolgens berekend als het procentuele verschil tussen de overall gemiddelde emissie van de casedagen en de overall gemiddelde emissie van de controledagen.

Deze aanpak wordt reeds beschreven in het meest recente VERA protocol en in het Nederlandse ammoniak meetprotocol (Ogink et al., 2017), maar moet in het Nederlandse fijnstof protocol nog worden opgenomen.

Om enig inzicht te krijgen in de precisie waarmee het verkregen eindreductiepercentage is bepaald, zijn voor dit cijfer een aantal betrouwbaarheidsintervallen berekend. Een x%-betrouwbaarheidsinterval is een combinatie van een ondergrens en bovengrens waarvoor het voor x% zeker is dat het gemiddelde daarin valt. Hiervoor zijn de reductiepercentages van de individuele metingen gebruikt. Onder de aanname van statistische onafhankelijkheid en normaliteit geldt dat het betrouwbaarheidsinterval gelijk is aan het gemiddelde $\pm t_{(v=n-1; \alpha)} * SE$, waarbij t de waarde is uit de Student-verdeling bij v vrijheidsgraden, n waarnemingen en een onbetrouwbaarheidsdrempel α en SE de standaardfout (berekend als de standaardafwijking gedeeld door de wortel uit het aantal waarnemingen).

2.5.4 Statistische analyses

Verschillen tussen controle- en casedagen voor de variabelen die direct of indirect gerelateerd zijn aan het emissieproces, zijn getoetst op significantie door middel van gepaarde t -toetsen. Het gaat daarbij om de factoren:

- temperatuur in de stal;
- relatieve luchtvochtigheid (RV) in de stal;
- CO₂-concentratie in de stal;
- ventilatiedebiet;
- fijnstofconcentratie in de stal, en;
- fijnstofemissie.

De eerste vier genoemde variabelen zijn tweezijdig getoetst. De laatste twee genoemde variabelen zijn eenzijdig getoetst, uitgaande van de onderzoekshypothese van hogere waarden op controledagen.

De vergelijkbaarheid van het ventilatiedebiet op case-dagen versus die op controledagen werd verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hierbij wordt het ventilatiedebiet op case-dagen als Y-variabele genomen en het ventilatiedebiet op controledagen als x-variabele. Idealiter ontstaat tussen de twee variabelen een $Y=x$ oftewel 1:1 relatie met een lijnstuk door de oorsprong onder een hoek van 45 graden omhoog. Getoetst is of de richtingscoëfficiënt significant afwijkt van 1 (bij standaard regressie wordt getoetst op afwijken van nul).

Relaties tussen het reductiepercentage en mogelijke invloedsfactoren (fijnstofconcentratie, ventilatiedebiet) op de effectiviteit van de techniek werden verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hier is een effect van de invloedsfactor (x-variabele) op het reductiepercentage (Y-variabele) verkend door te toetsen of de richtingscoëfficiënt significant afwijkt van nul.

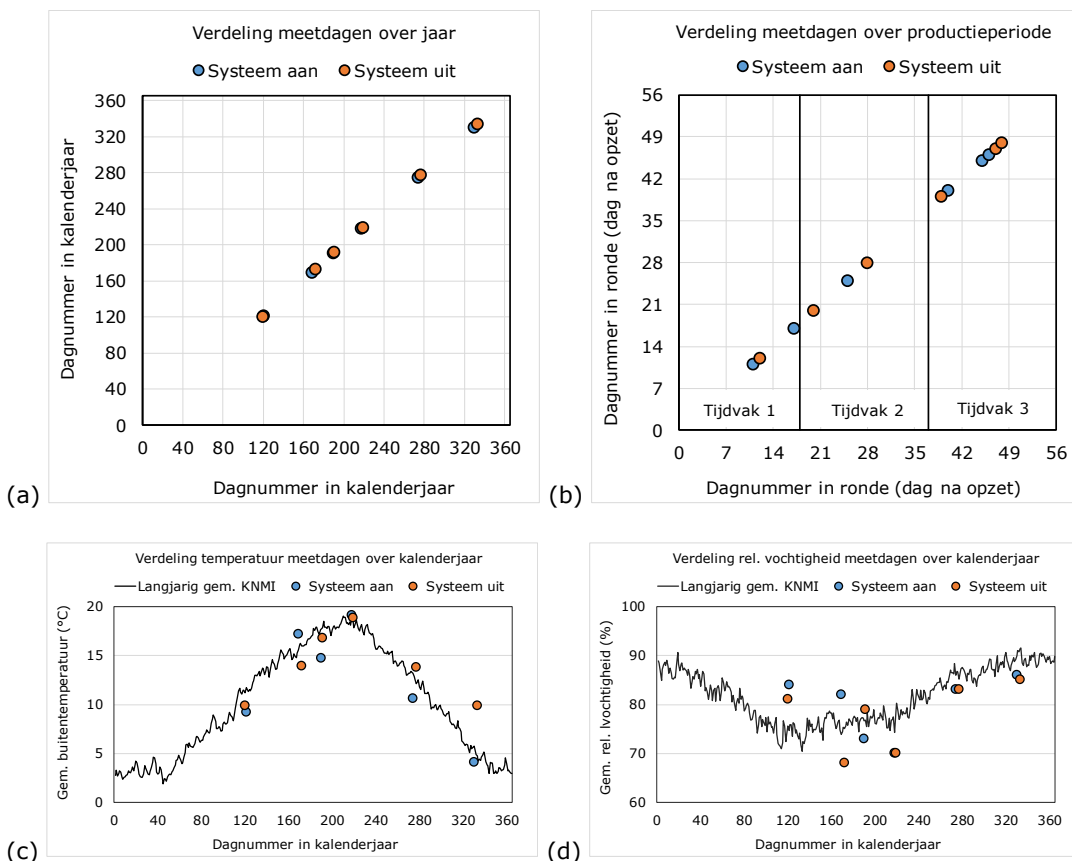
Voor de analyses werden de paartjes van waarnemingen als statistisch onafhankelijk beschouwd. Verschillen of relaties werden als statistisch significant beschouwd bij een P -waarde $<0,05$ en als trendmatig bij een P -waarde tussen 0,05 en 0,10. Alle analyses werden uitgevoerd met behulp van het statische programma GenStat (VSN, 2019).



3 Resultaten

3.1 Meetomstandigheden

Het Nederlandse meetprotocol voor fijnstof (Ogink et al., 2011) schrijft voor dat er per bedrijfslocatie zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten gelijkmatig verdeeld over een jaar zijn verricht. Figuur 3.1 laat zien hoe de metingen op de bedrijfslocatie in werkelijkheid verdeeld waren. Minimaal 80% van de metingen moet betrouwbare resultaten opleveren. De metingen zijn ongebalanceerd over de groeiperiode uitgevoerd. Hierbij wordt de totale lengte van de groeiperiode verdeeld in drie gelijke tijdvakken. In het eerste tijdvak werd één meting beoogd, in het tweede tijdvak twee metingen en in het derde tijdvak drie metingen. De groeiperiode op deze bedrijfslocatie heeft een lengte van 56 dagen (zie bijlage 1).



Figuur 3.1 Verdeling van de metingen over het jaar (a), en groeiperiode (b) en in vergelijking met de buitentemperatuur (c) en relatieve luchtvochtigheid (d) volgens de gemiddelde waarden gemeten over 1981 t/m 2010 van het KNMI-station De Bilt (weergegeven als lijn).

Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd in de periode juni 2018 tot en met augustus 2019 (zie bijlage 3). Hiervan gaven zes metingen (nummers 1, 3, 4, 5, 6 en 7) betrouwbare resultaten. Meting 2 is geëxcludeerd uit de dataset wegens een niet betrouwbare waarde van een CO₂-concentratie meting (zie bijlage 3).

Het gemiddelde dagnummer van de dagen waarop is gemeten is 218 (streven: ca 183). De metingen zijn niet geheel gelijkmatig over het jaar verdeeld. Drie van de zes geslaagde metingen vallen in de zomer en er zijn geen metingen in de winter uitgevoerd. Reden voor deze verdeling is o.a. de looptijd van het project, niet kunnen inzetten van meettechnici door ziekte en dreiging van aviaire influenza (door de laatste reden waren bedrijfsbezoeken in sommige periodes niet mogelijk).

Door de groeiperiode van 56 dagen bij trager groeiende vleeskuikens, wordt de lengte van een tijdvak (zie paragraaf 2.5.3) bij deze dieren 19 dagen. Bij meting 4 is door omstandigheden de aan-situatie gemeten in het eerste tijdvak van de groeiperiode (indeling in drie gelijke tijdvakken, zie paragraaf 25.3). Voor het bepalen van het totaal reductiepercentage is ook de uit-situatie beoordeeld alsof er is gemeten in het eerste tijdvak. In de discussie wordt ingegaan op het effect op het reductiepercentage als deze meting wordt gezien alsof er is gemeten in het tweede tijdvak.

In tabel 1 zijn o.a. de data waarop de metingen zijn uitgevoerd met de relevante technische resultaten en klimaatomstandigheden (buiten en binnen in de stal) weergegeven. De technische resultaten van de dieren (wateropname, voeropname, water/voer-verhouding, groei, en uitval) vielen binnen de normen van het ras die gesteld zijn door de fokkerijgroepering. Aan de landbouwkundige voorwaarden is niet volledig voldaan (zie bijlage 2). De belangrijkste reden hiervoor is dat in deze stal trager groeiende dieren worden gehouden. Voor deze dieren geldt een langere groeiperiode (met een vergelijkbaar eindgewicht) ten opzichte van regulier gehouden vleeskuikens. Verder zijn er geen afwijkingen geweest van het standaard bedrijfsmanagement.

Voor de klimaatgegevens voor de buitenlucht (temperatuur en RV) zijn de gegevens gebruikt van het meetstation in De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur bedroeg 11,2 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 12,8 °C voor de meetdagen met de techniek uit (langjarig gemiddelde KNMI: 10,2 °C). Voor de relatieve luchtvochtigheid was dit respectievelijk 82% en 79% (langjarig gemiddelde KNMI: 82%). De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen lag daarmee wat hoger dan het langjarig gemiddelde. De gemeten temperaturen en relatieve luchtvochtigheden lagen nabij de trend van het langjarig gemiddelde, het ontbreken van een meting tijdens de winter zal tot een gemiddeld iets hogere buitentemperatuur hebben geleid.

De gemiddelde temperatuur in de stal bedroeg 21,8 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 21,3 °C voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil borderline statistisch significant ($P=0,046$). Uit de gemeten temperaturen in tabel 3.1 blijkt ook dat bij alle zes metingen de temperatuur een fractie hoger was op de dagen met het systeem aan. Hoewel statistisch significant is het verschil met slechts een halve graad Celsius zeer klein. Het berust waarschijnlijk op toeval. De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal bedroeg 69,5% voor de meetdagen met de techniek aan versus 71,7% voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,774$).

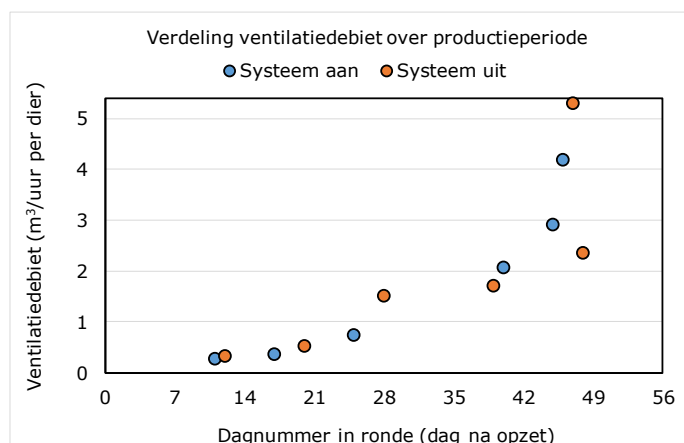
Tabel 1 Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met dagnummer in het jaar en dagnummer in productiecycclus, relevante technische resultaten en de klimaatomstandigheden (buitenklimaat en in de stal).

Variabele [eenheid]	METING 1		METING 3		METING 4		METING 5		METING 6		METING 7	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
Algemeen												
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	18-6-2018	21-6-2018	1-10-2018	4-10-2018	26-11-2018	29-11-2018	1-5-2019	30-4-2019	9-7-2019	10-7-2019	6-8-2019	7-8-2019
Tijd start meting [hh:mm]	10:16	10:00	10:55	10:10	10:35	10:35	10:00	9:00	9:30	10:00	10:30	15:00
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	19-6-2018	22-6-2018	2-10-2018	5-10-2018	27-11-2018	30-11-2018	2-5-2019	1-5-2019	10-7-2019	11-7-2019	7-8-2019	8-8-2019
Tijd einde meting [hh:mm]	10:16	10:00	10:30	10:30	10:35	11:00	10:00	9:00	9:30	10:00	10:30	15:00
Dagnummer in jaar [#]	169	172	274	277	330	333	121	120	190	191	218	219
Productiekenngetallen												
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	4-5-2018	4-5-2018	6-9-2018	6-9-2018	9-11-2018	9-11-2018	22-3-2019	22-3-2019	24-5-2019	24-5-2019	26-7-2019	26-7-2019
Ras	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard
Dagnummer in productieronde	45	48	25	28	17	20	40	39	46	47	11	12
Aantal dieren geplaatst	8550	8550	8325	8325	8404	8404	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Aantal dieren aanwezig	8343	8336	8001	7984	8299	8298	10915	10917	10852	10846	10830	10828
Uitval cumulatief [%]	2,42	2,50	3,89	4,10	1,25	1,26	0,77	0,75	1,35	1,40	1,55	1,56
Diergewicht [g]	1704	1843	732	890	431	550	1612	1554	1873	1968	220	247
Voeropname [g/dier per dag]	108	144	75	85	63	81	131	126	147	150	34	37
Wateropname [mL/dier per dag]	228	234	125	135	88	101	205	213	227	225	45	50
Water/voer-verhouding	2,11	1,63	1,67	1,59	1,40	1,25	1,56	1,69	1,54	1,50	1,32	1,35
Buitenluchtcondities												
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	17,2	13,9	10,6	13,8	4,1	9,9	9,2	9,9	14,7	16,8	19,1	18,8
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	82	68	83	83	86	85	84	81	73	79	70	70
Windrichting (KNMI)	ZW, WZW	WNW, NW	NW, WZW	ZZW, ZZO	ONO, OZO	Z, ZZW	NW, W	N, NW	NNW, Z	Z, WZW	ZW, ZW	ZW, WZW
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	14,6	17,8	10,8	19,8	26,5	6,3	25,6	22,6	11,6	18,3	13,3	14,6
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	7,1	5,0	4,6	12,8	24,9	5,0	19,7	15,7	4,2	11,3	6,0	6,5
Stallucht en ventilatie												
Gem. luchttemperatuur [°C]	21,3	20,7	22,3	21,8	23,3	21,9	20,6	20,5	21,5	21,4	28,9	28,5
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	73	59	76	75	77	85	66	71	55	69	78	74
Gem. CO ₂ -concentratie [ppm]	1412	1724	2544	1596	3355	2867	1759	2016	1152	1016	2867	2548
Ventilatie-debiet [m³/h per dier]	2,9	2,3	0,7	1,5	0,4	0,5	2,1	1,7	4,2	5,3	0,3	0,3
Fijnstofconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie PM10 [µg/m³]	638	2342	264	1098	104	980	883	1839	724	827	47	677
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m³]	1704		834		876		956		103		629	
Concentratiereductie PM10 rel. [%]	73		76		89		52		12		93	
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	15,8	47,8	1,6	14,2	0,2	4,3	15,5	26,9	26,1	37,5	0,1	1,9
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]	32,0		12,6		4,1		11,4		11,4		1,8	
Emissiereductie PM10 rel. [%]	67		89		94		42		30		96	

De waarden van de indicatieve NH₃-metingen zijn niet opgenomen in tabel 1. Ze varieerden binnen de normale waarden voor stallen met vleeskuikens en geven geen aanleiding om een relatie met het DUSTion-systeem te analyseren.

3.2 CO₂-concentratie en ventilatie-debiet

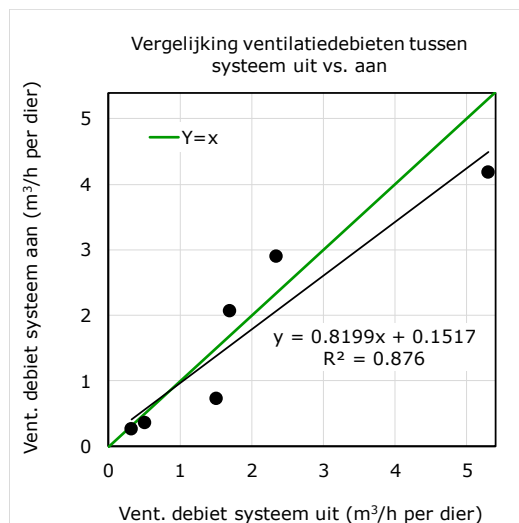
Tabel 1 toont de gemeten CO₂-concentraties. De gemiddelde CO₂-concentratie in de stal bedroeg 2044 ppm voor de meetdagen met de techniek aan, versus 1844 ppm voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,308$). Op basis van o.a. de in tabel 1 weergegeven CO₂-concentraties in de stal zijn de ventilatie-debieten berekend. In figuur 3.2 zijn deze weergegeven ten opzichte van het dagnummer in de productieperiode. Het ventilatie-debiet vertoont een normaal verloop over de groeiperiode voor vleeskuikens: laag in het begin en toenemend in de ronde (Winkel et al., 2015b). Een directe vergelijking met het verloop bij specifiek traag groeiende vleeskuikens is niet te maken omdat hiervan geen meetgegevens voorhanden zijn.



Figuur 3.2 Verdeling van het ventilatie-debiet over de productieperiode.

Het gemiddelde ventilatiedebiet (\pm standaardafwijking) bedroeg 2,0 (\pm 1,6) m³/uur per dier voor meetdagen met de techniek aan versus 2,3 (\pm 1,8) m³/uur per dier voor meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,485$)

In figuur 3.3 is een nadere vergelijking uitgevoerd van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit middels enkelvoudige lineaire regressieanalyse.



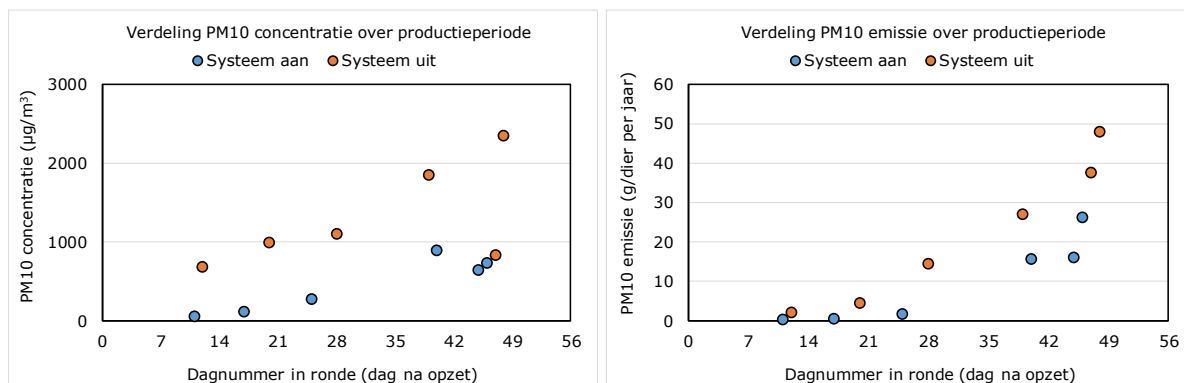
Figuur 3.3 Vergelijking van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit.

Uit de analyse blijkt dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn niet statistisch significant afwijkt van de waarde 1 (de groene $Y=x$ lijn; $P=0,308$) en ook het snijpunt van de regressielijn is niet significant afwijkend van nul (d.w.z. door de oorsprong; $P=0,719$). Ook uit deze analyse blijkt dat de ventilatiedebieten zeer vergelijkbaar waren tussen dagen met het systeem aan en dagen met het systeem uit. Dit betekent dat er sprake is geweest van een zuivere vergelijkingsbasis in de meetstrategie v.w.b. het ventilatiedebiet.

3.3 Concentratie, emissie en reductie PM₁₀

Voor het corrigeren van de emissie uit de stal met de achtergrondconcentratie, zijn de waarden gebruikt van het meetstation in Wekerom van het RIVM.

De concentraties en emissies van PM₁₀ op meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit worden weergegeven in figuur 3.4. Uit de figuur blijkt dat de concentraties en emissies toenamen in de ronde zoals dat bij vleeskuikens gebruikelijk is (Winkel et al., 2015b). In de figuur is te zien dat de concentraties en emissies op de dagen met de techniek aan in alle gevallen lager was dan op de dagen met de techniek uit.



Figuur 3.4 PM₁₀ concentraties (links) en PM₁₀ emissies (rechts) op de meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit.

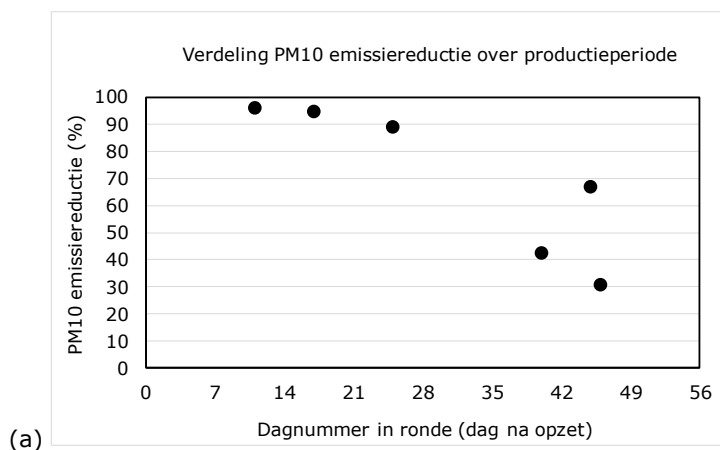
De gemiddelde (\pm standaardafwijking) PM_{10} concentratie in de stal bedroeg 523 (\pm 326) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de meetdagen met de techniek aan versus 1417 (\pm 647) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil statistisch significant ($P=0,005$).

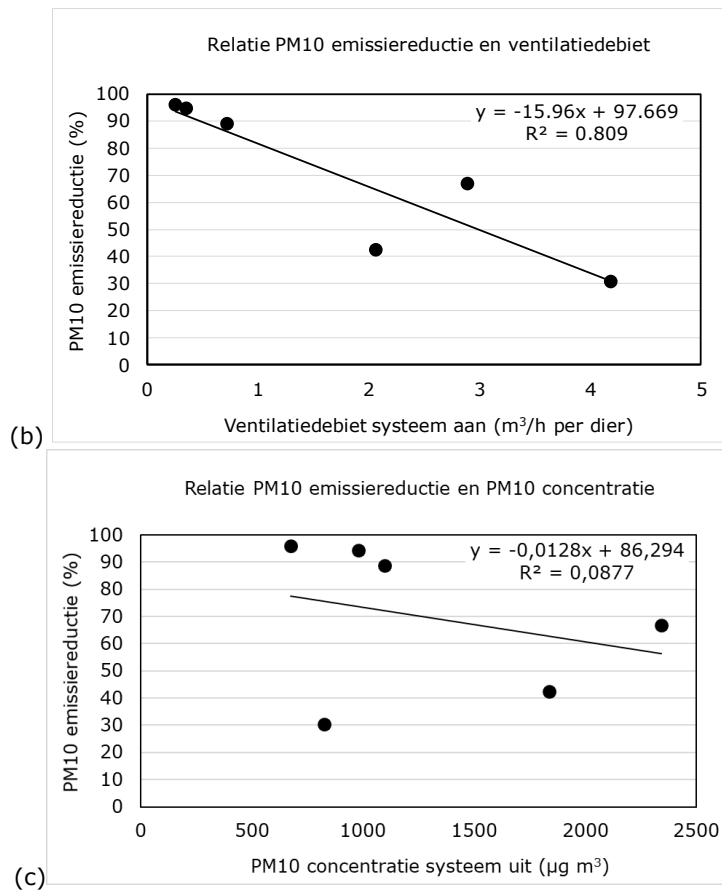
De gemiddelde PM_{10} emissie uit de stal (berekend zoals beschreven in paragrafen 2.5.2 en 2.5.3) bedroeg 7,0 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek aan versus 18,2 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek het verschil in emissies statistisch significant ($P=0,019$). Op basis van deze waarden bedraagt het eindreductiepercentage van de techniek 62%.

In figuur 3.5 worden de reductiepercentages weergegeven als functie van dagnummer in ronde, het ventilatiedebiet en de PM_{10} concentratie in de stal. Omdat het hier slechts gaat om zes waarnemingen van één bedrijfslocatie moet deze verkenning naar invloedsfactoren op de effectiviteit van de techniek met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Het algemene beeld uit figuur 3.5 is die van een reductiepercentage welke afneemt gedurende de productieperiode. Kenmerkend aan de productieperiode van vleeskuikens is dat hun lichaamsgewicht, mestproductie, stofproductie, warmteproductie en ventilatiebehoefte doorgaans toeneemt met het ouder worden. Hier kan een rol spelen:

- dat de PM_{10} concentratie in de loop van de productieperiode dermate hoog wordt dat de ionenproductie van de techniek ontoereikend is om het reductieniveau te handhaven;
- dat de vervuiling van gearde collectoroppervlakken (zoals het plafond van de stal) dermate veel stofhechting vertoont dat een elektrisch isolerende laag de migratie naar en verdere aanhechting aan die collectoroppervlakken vermindert;
- dat het ventilatiedebiet en/of luchtsnelheid dermate groot wordt dat de geproduceerde ionen en geïoniseerde stofdeeltjes in toenemende mate worden weggeventileerd voordat migratie naar en aanhechting aan een collectoroppervlak kan plaatsvinden.

Van deze variabelen is de PM_{10} concentratie niet statistisch significant ($P=0,569$) van invloed, het ventilatiedebiet is wel statistisch significant van invloed ($P=0,015$). Uit de analyse kan niet worden afgeleid of deze variabele daadwerkelijk van invloed is. Een afnemende effectiviteit van ionisatiesystemen in pluimveestallen tot het volgende schoonmaakmoment is ook gevonden bij een negatief ionisatiesysteem van de firma Inter Continental (Ysselsteyn, Nederland), experimenteel onderzocht in een experimentele leghennenstal (Winkel et al., 2009) en alsook bij een positief ionisatiesysteem van de firma ENS Clean Air (Cuijk, Nederland) beproefd in twee leghennenstallen (Winkel et al., 2013).





Figuur 3.5 Het reductiepercentage voor PM_{10} als functie van (a) dagnummer in ronde, (b) het ventilatiedebiet en (c) de PM_{10} concentratie in de stal bij systeem uit.

4 Discussie

Ten aanzien van de resultaten van de metingen en de vertaling ervan naar een reductiepercentage moeten de volgende discussiepunten in acht worden gehouden. De beoordeling van deze discussiepunten leiden uiteindelijk tot de conclusie verwoord in hoofdstuk 5.

Voor het toepassen van emissie reducerende technieken in stallen in het kader van het verkrijgen van een omgevingsvergunning dienen deze technieken opgenomen te zijn in de officiële "Lijst emissiefactoren fijn stof voor veehouderij" zoals die regelmatig wordt geactualiseerd en gepubliceerd op de website van de Rijksoverheid (Rijksoverheid, 2018). Opname van de techniek in de lijst met een bepaald reductiepercentage vindt plaats nadat er door de leverancier van de techniek een aanvraag met een meetrapport is ingediend bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Hoewel niet wettelijk vastgelegd (zoals dat overigens wel het geval is bij ammoniak) is het gebruikelijk dat het meetrapport en de daarin gevolgde methoden in overeenstemming zijn met het meetprotocol "Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010" zoals gepubliceerd door Ogink et al. (2011). Om aanvragen te beoordelen vraagt RVO technisch advies aan de Technische Advies Pool (TAP). Dit is een pool van deskundigen die voor diverse bedrijven en organisaties werken. Het beoordelingsproces gaat via het beoordeling-review-principe. Dit betekent dat minimaal 2 deskundigen de aanvraag beoordelen. Dit om tot een volwaardig eindadvies te komen. Op basis van dit eindadvies stelt de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat het uiteindelijk reductiepercentage vast.

Gezien de grote behoefte aan innovatieve technieken voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij is in de fijnstofpilots in de Foodvalley regio beoogd om op een relatief goedkope en eenvoudige manier snel inzicht te krijgen in het perspectief en de reductie van zulke technieken. Daarom zijn er in de pilots een aantal bewuste omissies gepleegd t.a.v. de methodologie. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

- a. de gemiddelde emissiereductie is vastgesteld door een meetserie van zes metingen op één bedrijfslocatie i.p.v. twee meetseries van in totaal twaalf metingen op twee bedrijfslocaties zoals het meetprotocol dit voorschrijft;
- b. Er is niet gemeten in een fysieke proefstal en een fysieke controlestal maar gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald
- c. de concentraties en emissies van fijnstof (PM₁₀) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO₂-balansmethode op grond van metingen van CO₂ in de stal (conform het meetprotocol) maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO₂ in de buitenlucht;
- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM₁₀) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation in Wekerom van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

Voorafgaand aan de fijnstofpilots in de Foodvalley regio zijn deze omissies toegelicht en bediscussieerd met vertegenwoordigers van het Ministerie van IenW en RVO. Afgesproken is dat de meetrapporten uit de fijnstofpilots ingediend mogen worden bij RVO en zullen worden voorgelegd ter beoordeling en advisering door de TAP. Echter, daarbij is eveneens afgesproken dat in de discussie van het meetrapport een analyse en duiding zal plaatsvinden van de extra onzekerheid die de omissies in de fijnstofpilots met zich meebrengen. Op grond van die analyse en duiding, en op grond van de beoordeling en advisering door de TAP, kan er bij vaststelling van het reductiepercentage een onzekerheidsmarge worden afgetrokken van het verkregen resultaat uit een fijnstofpilot. Als een leverancier het reductiepercentage met onzekerheidsmarge wil vervangen door een definitief (d.w.z. betrouwbaarder en waarschijnlijk hoger) reductiepercentage, dan dient een meetrapport van een tweede meetserie op een tweede bedrijfslocatie te worden ingediend bij RVO. In de onderstaande tabel wordt voor een aantal betrouwbaarheidsintervallen de ondergrenzen van de reductiepercentages

en de kans dat de reductie hoger is dan deze ondergrens weergegeven. Dit ten opzichte van het gemiddelde reductiepercentage van 62%.

Tabel 2 *Verschillende betrouwbaarheidsintervallen met de kans dat het reductiepercentage hoger is dan de ondergrens en de ondergrens van het reductiepercentage.*

Betrouwbaarheidsinterval	Ondergrens reductiepercentage	% Kans dat reductie hoger is dan ondergrens
95%	32,3%	97,5%
90%	38,6%	95%
80%	44,8%	90%
70%	48,5%	85%
60%	51,2%	80%
50%	53,4%	75%

Hierna wordt ingegaan op de onzekerheid die de hierboven genoemde omissies met zich meebrengen.

a. Eén i.p.v. twee bedrijfslocaties en zes in plaats van 12 metingen

Volgens de gehanteerde meetprotocollen moet er bij een case-control meetstrategie gemeten worden op minimaal twee bedrijfslocaties om variatie in de prestatie van de techniek tussen verschillende stallen mee te nemen in het eindreductiepercentage. In dit rapport zijn de resultaten weergegeven van metingen op één bedrijfslocatie. Op deze bedrijfslocatie kan de techniek – om welke reden dan ook – systematisch beter of slechter hebben gepresteerd dan de werkelijke gemiddelde prestatie zoals die theoretisch verkregen zou kunnen worden door de techniek te bemeten op een zeer groot aantal bedrijfslocaties. Enig inzicht in de tussenbedrijfsvariatie van ionisatietechnieken kan verkregen worden uit de meetrapporten van een negatief ionisatiesysteem van de firma Inter Continental (Ysselsteyn, Nederland) beproefd op twee vleeskuikenbedrijven en een positief ionisatiesysteem van de firma ENS Clean Air (Cuijk, Nederland) beproefd in twee leghennenstallen (beide meetrapporten zijn gepubliceerd als wetenschappelijk artikel met hierin individuele reductiepercentages per bedrijfslocatie door Winkel et al., (2016). T.a.v. de eerste ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM₁₀ reductiepercentage 47% met reductiepercentages per bedrijfslocatie van gemiddeld 46% voor bedrijf 1 en 49% voor bedrijf 2. T.a.v. de tweede ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM₁₀ reductiepercentage 6% met reductiepercentages per bedrijfslocatie van gemiddeld 12% voor bedrijf 1 en 4% voor bedrijf 2. Deze twee ionisatietechnieken laten dus een vergelijkbaar beeld (kleine tussenbedrijfsvariatie) zien in beide bedrijfslocaties. Voor voornoemde twee technieken geldt dat op de kleinst mogelijke schaal (2 bedrijfslocaties) is laten zien dat het reductiepercentage reproduceerbaar is. Dit kan voor de techniek in dit rapport vergelijkbaar gelden, maar wellicht ook niet. Daarover wordt pas meer inzicht/betrouwbaarheid verkregen door een meetserie bij een tweede bedrijfslocatie uit te voeren.

De keuze in de fijnstofpilots om metingen uit te voeren op één bedrijfslocatie brengt verder met zich mee dat het reductiepercentage van 62% gebaseerd is op één meetserie van zes in plaats van 12 waarnemingen. De gevonden reductie is statistisch significant afwijkend van nul. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (de bovengrens en ondergrens waartussen voornoemde eindreductiepercentage met 95% zekerheid ligt) bedraagt de gevonden reductie ± 30 procentpunten. Als echter een volledige dataset van 12 waarnemingen op twee bedrijfslocaties voorhanden zou zijn, en als de spreiding in die dataset gelijk zou blijven aan die in de huidige dataset, dan zou t.g.v. het grotere aantal waarnemingen het 95%-betrouwbaarheidsinterval dalen tot ± 25 procentpunten. Voor het vaststellen van een onzekerheidsmarge kan ook gebruik worden gemaakt van andere meetseries uit het verleden. In Winkel (2020) is dit gedaan voor de reductiepercentages voor PM₁₀ van de al in de regelgeving opgenomen technieken. Op basis van die analyse wordt een onzekerheidsmarge voorgesteld van 10 procentpunten ten opzichte van het gemeten bedrijfsgemiddelde. Daarmee is het advies voor deze techniek om een voorlopige reductiepercentage van 52% op te nemen in de landelijke regelgeving.

b. Case-control in de tijd strategie i.p.v. fysieke proef- en controlestallen

Vaak is het moeilijk om twee echt identieke praktijkstallen te vinden, zo ook in deze pilot. Daarom is er gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal

geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald. Zowel de case-control als de case-control in de tijd strategie kennen hun voordelen en aandachtspunten. Bij twee identieke stallen worden in de praktijk toch vaak kleine (systematische) verschillen gezien in binnenklimaat en luchtkwaliteit, bijvoorbeeld doordat de ene stal overwegend in de luwte van de andere staat of er kleine verschillen bestaan in de klimaatregeling. Ook bij identieke stallen bestaan er soms verschillen in dierprestaties (bijvoorbeeld in uitval) en verschilt de natheid van het strooisel t.g.v. de vertering door de dieren. Zulke kleine verschillen kunnen worden geneutraliseerd door de behandeling telkens te wisselen tussen stallen. Dit is echter met technische systemen die moeten worden ingebouwd een kostbare, tijdrovende en onpraktische werkwijze. In een case-control in de tijd strategie bestaan voornoemde onzuiverheden tussen stallen niet. De stal waar de proefbehandeling wordt toegepast is kort daarvoor, of kort daarna, ook de stal waar de controlemeting wordt verricht. Bij deze strategie zijn er twee aandachtspunten: de aan-meting en de uit-meting dienen zo dicht mogelijk bij elkaar te worden uitgevoerd om te grote verschillen in met name ventilatiedebiet te voorkomen en de aan- en uit-perioden mogen elkaar niet beïnvloeden. Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan is de case-control in de tijd strategie een voldoende zuivere vergelijkingsbasis. De case-control in de tijd strategie is in de laatste versies van de Nederlandse meetprotocollen nog niet opgenomen, de strategie komt wel voor in het VERA-protocol voor "Livestock housing and management systems" (VERA, 2018b). De strategie is verder bij metingen aan reductietechnieken voor fijnstof de afgelopen jaren veel toegepast. Resultaten verkregen met deze strategie zijn geaccepteerd in peer-reviewed wetenschappelijke tijdschriften en door de rijksoverheid geaccepteerd voor opname in de officiële "Lijst Emissiefactoren fijnstof voor veehouderij". Hier behoeven de Nederlandse protocollen een update.

c. Meetmethode PM₁₀ indirect equivalent aan EN 12341:2014

De toegepast meetmethode voor PM₁₀ (DustTraks, modellen 8520 en 8530) kent twee soorten fouten: de methode onderschat de werkelijke PM₁₀ concentratie in stallen (systematische fout of bias) en de methode kent een relatief grote variatie tussen apparaten (toevalsfout). Om deze reden was de methode nog niet opgenomen in het meetprotocol voor fijnstof (Ogink et al., 2011).

Echter, in het meest recente VERA protocol (VERA, 2018a) wordt reeds de eis gesteld dat een PM₁₀ meetmethode equivalent dient te zijn aan de EN 12341:2014 referentiesampler (CEN, 2014). Door correctiefactoren te gebruiken op de ruwe data van de DustTrak is dit apparaat indirect equivalent aan de referentiesampler gemaakt. De relatief grote toevalsfout van de methode is gecompenseerd door de metingen in duplo, d.w.z. met twee apparaten, uit te voeren. Wanneer beide DustTraks goed hebben gemeten is het gemiddelde van beide concentraties genomen. Als bij een meting één DustTrak niet goed gemeten heeft, wordt deze data niet gebruikt. Dit is het geval geweest bij meting 3 en 4. Als beide apparaten niet goed gemeten hebben is de gehele meting niet gebruikt. Daarnaast zijn de diverse apparaten in de pilot voorafgaand aan en na afloop van elke meting met elkaar vergeleken om afwijkende apparaten op te sporen en vroegtijdig te reinigen en onderhouden. Op deze wijze zijn de DustTrak modellen inzetbaar voor het bemeten van relatieve verschillen tussen case- en controledagen. Hier behoeft het Nederlandse protocol uit 2011 een update. Voor het meten van PM₁₀ emissiefactoren die dus op absolute schaal accuraat dienen te zijn, verdient een gravimetrische methode de voorkeur. Deze methode is direct equivalent aan EN 12341:2014 en kent een kleinere toevalsfout tussen apparaten.

d. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van CO₂-achtergrondconcentraties

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van CO₂ en PM₁₀ in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor CO₂ gekozen voor een vaste waarde van 400 ppm en voor PM₁₀ van de gemiddelde concentratie tijdens de meetdag van het dichtstbijzijnde meetstation van het RIVM: in een "schone, verre achtergrond" voor beide componenten, waarbij de CO₂-waarde een gekozen vaste waarde is die in werkelijkheid tot enkele tientallen ppm's hoger of lager zou kunnen zijn geweest. Om het effect van een lagere of hogere CO₂-achtergrond inzichtelijk te maken is het reductiepercentage nogmaals doorgerekend op basis van een zeer lage vaste achtergrond van 300 ppm én een zeer hoge vaste achtergrond van 500 ppm (deze achtergrondconcentraties werken door in de berekening van het ventilatiedebiet middels de CO₂-balansmethode en vervolgens in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). De aldus verkregen reductiepercentages bedroegen 62,1% bij 300 ppm, 61,8% bij 400 ppm en 61,4% bij 500 ppm. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt

dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de gekozen vaste achtergrond voor CO₂. Dit komt doordat a) het concentratieverschil tussen binnen en buiten groot is, en b) de kleine "fout" bij het berekenen van het ventilatiedebiet op zowel case- als controledagen wordt gemaakt. Bij lagere concentratieverschillen tussen binnen en buiten, en bij het bemeten van een absolute emissiefactor, dient overigens altijd een CO₂-achtergrond te worden bepaald.

e. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van PM₁₀-achtergrondconcentraties

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van PM₁₀ in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor PM₁₀ de gemiddelde concentratie tijdens de meetdagen van het dichtstbijzijnde meetstation van het RIVM gebruikt. Om het effect van een lagere of hogere PM₁₀-achtergrond inzichtelijk te maken is het reductiepercentage nogmaals doorgerekend op basis van een verlaging of verhoging van de PM₁₀-achtergrondconcentratie met 20 µg/m³ (deze achtergrondconcentraties werken door in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). Ten opzichte van het gemiddelde van 61,8% neemt het reductiepercentage met 0,7% toe als de buitenconcentratie 20 µg/m³ hoger is en met 0,3% af als de buitenconcentratie 20 µg/m³ lager is. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de PM₁₀-achtergrondconcentratie. Dit komt doordat a) het concentratieverschil tussen binnen en buiten groot is, b) de kleine "fout" bij het berekenen van de emissie op zowel case- als controledagen wordt gemaakt, en c) de windrichting op beide meetdagen per aan-uit meting redelijk vergelijkbaar is geweest (zie tabel 1). Alleen bij meting 3 is de wind gedraaid van ONO naar ZZW tijdens beide meetdagen. Het verschil in de achtergrondconcentratie is tussen beide meetdagen ook 20 µg/m³. Bij een verhoging in het verschil naar 40 µg/m³ neemt de reductie op die dag met twee procentpunten toe, maar heeft dit geen effect op het gemiddelde reductiepercentage. Bij lagere concentratieverschillen tussen binnen en buiten en bij het bemeten van een absolute emissiefactor, dient overigens altijd een PM₁₀-achtergrond te worden bepaald.

Hierna wordt nog ingegaan op een aantal algemene discussiepunten.

Verdeling metingen over jaar en productieperiode

Uit paragraaf 3.1 blijkt dat de metingen niet helemaal evenwichtig verdeeld zijn over alle fasen van het kalenderjaar. Dit is enerzijds inherent aan een meetserie van zes geslaagde metingen. Anderzijds had de pilot te maken met incidenten in de sector, leegstand van een bedrijf door het afleveren en weer opzetten van dieren en het uitvallen van meettechnici door ziekte. Omdat de metingen niet zijn gericht op het vaststellen van een absolute emissiefactor maar op een reductiepercentage, en omdat het werkingsprincipe van ionisatietechnieken waarschijnlijk niet wordt beïnvloed door seizoensinvloeden, is de onzekerheid die deze omissie veroorzaakt waarschijnlijk klein. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 is meting 4 meegenomen als een meting in het eerste tijdvak van de totale productieperiode. Als meting 4 wordt gezien als een meting in het tweede tijdvak, komt het totale gemiddelde reductie percentage op 58%.

Landbouwkundige voorwaarden

De metingen voldoen grotendeels aan de landbouwkundige voorwaarden beschreven in bijlage 2. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze voorwaarden van toepassing zijn op reguliere vleeskuikens, terwijl de metingen zijn uitgevoerd in een stal met zogenaamde tragere groeiers. Deze dieren worden op een vergelijkbaar eindgewicht afgeleverd, maar kennen een langere groeiperiode. Met deze langere groeiperiode is rekening gehouden bij de verdeling van de metingen over deze periode (zie paragraaf 2.5.3). De verwachting is dat dit verschil in type dier wel een effect zal hebben op hoogte van de emissie per dier over de hele ronde. Maar in dit onderzoek is gekeken naar het effect van een reducerende techniek en door de gekozen meetstrategie (case-control in de tijd in dezelfde stal), wordt geen invloed verwacht op het reductiepercentage. Bij meting 4 is tijdens de aan-situatie de gemiddelde waarde van de CO₂-concentratie in de stal hoger geweest dan 3.000 ppm. Dit is het gevolg van een laag minimumventilatie niveau vanwege lage buitentemperaturen. Uit de data blijkt dat gedurende de hele meting de CO₂-concentratie boven deze waarde is geweest. Als de ventilatie ook was geregeld op een te hoge CO₂-concentratie, zou de gemiddelde ventilatie op die meetdag hoger zijn uitgekomen. Bij een gelijke stofconcentratie neemt de emissie dan toe, echter een hoger ventilatie niveau heeft een lagere stofconcentratie tot gevolg. Uitgaande van een hogere emissie tijdens de aan-situatie bij deze meting, zou het reductiepercentage

bij de meting lager kunnen uitkomen. Als gevolg hiervan zal ook het totale gemiddelde reductiepercentage kunnen afnemen.

Op de meting in de aan-situatie bij meting 1 na, lag de water/voerverhouding beneden de landbouwkundige voorwaarden. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door het andere type vleeskuiken. Deze lagere water/voerverhouding kan droger strooisel tot gevolg hebben en daardoor een hogere stofconcentratie in de stallucht. Omdat is gemeten in een case-control in de tijd situatie, en de water/voerverhouding tussen beide meetdagen niet verschillend was, zal dit geen effect hebben gehad op het gemeten reductiepercentage. Dit laatste geldt ook voor dat er geen monsters van het strooisel zijn genomen t.b.v. het bepalen van het drogestofgehalte. Het drogestofgehalte zal wel een invloed hebben op het absolute niveau van de stofconcentratie in de stallucht, maar vanwege de meetstrategie niet op het reductiepercentage.

Stabilisatietijd

Tijdens een meting (meting 6) is de stabilisatietijd van minimaal één uur niet in acht genomen. Ook is bij deze meting de volgorde van de aan- en uit-situatie andersom. Dit laatste geldt ook voor de laatste meting (meting 7). De data laten geen reden zien deze metingen te laten vervallen.

Vergelijking met bestaande systeem met coronadraden

In de lijst met emissiefactoren is onder categorie E 7.2 een systeem opgenomen dat eenzelfde werkingsprincipe heeft met een reductiepercentage van 49%. Het verschil tussen beide systemen is met name de richting van de emitters en het aantal emitters per strekkende meter draad. Dit is het gevolg van het toepassen van prikkeldraad in bij het in dit rapport beschreven systeem. Het reductiepercentage is gebaseerd op metingen bij reguliere vleeskuikens op twee bedrijfslocaties volgens het case-control-principe met twee identieke stallen per bedrijfslocatie (Winkel et al., 2011). De metingen laten een vergelijkbaar patroon zien wat betreft het verloop van de emissie, met het verschil dat bij de metingen in dit rapport sprake is van een langere groeiperiode. Ook de reductie door het systeem geeft een vergelijkbaar beeld: hoger in het begin van de productieperiode en minder aan het eind. Omdat in de situatie van Winkel et al. (2011) sprake is van simultaan metingen aan twee identieke stallen, is het verschil in klimaatomstandigheden niet aanwezig. En daarmee slechts een klein verschil in ventilatiedebiet. De spreiding in het reductiepercentage is hierdoor ook kleiner, de standaarddeviatie tussen de bedrijven bedroeg 2,3%. Het lagere reductiepercentage kan een gevolg zijn van het verschil in uitvoering (richting en aantal emitters).

Neveneffecten en afwenteling

PM_{2.5}

In dit onderzoek zijn geen metingen verricht naar de reductie van PM_{2.5}. Op basis van de studie van Cambra-López et al. (2009) is het te verwachten dat ook dit systeem een lagere reductie zal geven voor PM_{2.5}.

Ozon

Ionisatie kan leiden tot de productie van ozon. In de studie van Cambra-López et al. (2009) is de ozonconcentratie altijd onder de minimale detectiewaarde gebleven. Alleen bij hele lage ventilatiedebieten zoals bij jonge vleeskuikens kon een bepaalde ozongeur waargenomen worden. Zodra de ventilatie minimaal begon te draaien waren er geen aanwijzingen meer voor de aanwezigheid van ozon. Er is op deze bedrijfslocatie eenmalig een indicatieve ozonmeting uitgevoerd. Er kon bij die meting geen ozon worden aangetoond.

Methaan/lachgas

Voor zover bekend heeft ionisatie geen effect op het ontstaan of verwijderen van methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) uit stallucht. Hieraan zijn in dit project ook geen metingen verricht.

Brandgevaar

Onderzoek uitgevoerd naar het brandgevaar van een andere ionisatietechniek gaf aan dat de kans op een stofexplosie door ontladingen van het ionisatiesysteem verwaarloosbaar klein is (de Feijter en Reijman, 2014). Er zijn geen redenen voor een hoger gevaar bij het ionisatiesysteem beschreven in dit rapport.

Elektromagnetische velden

De hoge spanning toegepast bij ionisatie zorgt voor een elektromagnetisch veld, wat mogelijk zorgt voor gezondheidseffecten bij mens en dier. In dit rapport is geen verder onderzoek gedaan naar het optreden hiervan bij dit ionisatiesysteem. Aangenomen mag worden dat leverancier het systeem dusdanig uitvoert dat dit geen schadelijke effecten tot gevolg zal hebben.

Vertaling naar andere pluimveecategorieën

Het DUSTion systeem is binnen de pluimveehouderij in ieder geval toepasbaar bij vleeskuikens. Een belangrijk aspect van luchtionisatie in stallen is dat deeltjes zich ophopen aan plafonds en andere gearde collectoroppervlakken. De opbouw van stof werkt als een elektrisch isolerende laag tussen spanningsbron en collectoroppervlak welke het ionisatieproces meer en meer belemmerd. Voor een optimale werking is het belangrijk dat het systeem en de stal met een hoge frequentie worden gereinigd. Dit is het geval bij vleeskuikens met productieperioden van 6-8 weken gevolgd door reiniging en ontsmetting. Het systeem is waarschijnlijk niet toepasbaar bij (opfok)leghennen, (opfok)ouderdieren en vleeskalkoenen omdat daarbij de productieperiode te lang is en er geen reiniging in aanwezigheid van dieren van gearde oppervlakken kan plaatsvinden.

De strooiselkwaliteit van vleeseenden verschilt van die van vleeskuikens in met name het drogestofgehalte (ca. 30% t.o.v. >50%). Tevens wordt in de tweede helft van de groeiperiode, na overplaatsing van de dieren naar een andere stal, dagelijks nieuw strooisel aangebracht. Toepassing van het systeem tijdens de eerste fase van de groeiperiode, voor overplaatsen, zou daarmee mogelijk zijn. Of tijdens de tweede fase van de groeiperiode eenzelfde effect wordt bereikt zal met metingen moeten worden onderzocht.

5 Conclusie en advies

Het DUSTion systeem van de firma's Serutech-Agri en Optiklep is in staat de emissie van PM_{10} in vleeskuikenstallen te reduceren. Op grond van zes metingen aan één vleeskuikenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt deze reductie gemiddeld 62%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. Rekening houdend met een onzekerheidsmarge van 10 procentpunten vanwege het meten op slechts één bedrijfslocatie, is het advies om een reductiepercentage op te nemen van 52%.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A., Cambra-López, M., Lai, H.T.L., Ogink, N.W.M. 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Rapport 452. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Cambra-López, M., Winkel, A., Van Harn, J., Ogink, N. W. M., & Aarnink, A. J. A. (2009). Ionization for reducing particulate matter emissions from poultry houses. *Transactions of the ASABE*, 52(5), 1757-1771.
- Cambra-Lopez, M. ; Winkel, A. ; Mosquera Losada, J. ; Ogink, N.W.M. ; Aarnink, A.J.A. 2015. Comparison between light scattering and gravimetric samplers for PM10 mass concentration in poultry and pig houses. *Atmos. Environ.* 111:20-27. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- CEN. 2014. Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter. Brussel, België: European Committee for Standardization (CEN).
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik). International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- Feijter de, M. P., & Reijman, P. B. (2014). Brandveiligheid stofafvangsystemen in kippenstallen. *Ectis Nederland*. Gezondheidsraad. 2018. Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Hagenaars, T., Hoeksma, P., de Roda-Husman, A.M., Swart, A., Wouters, I. 2017. Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies). Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bioaerosolen. Rapport 2017-0062. Bilthoven: RIVM.
- Heederik D.J.J. & IJzermans, C.J.. 2011. Mogelijke effecten van intensieve-veehouderij op de gezondheid van omwonenden: onderzoek naar potentiële blootstelling en gezondheidsproblemen. Utrecht: IRAS-UU. Utrecht: NIVEL. Bilthoven: RIVM.
- Heederik, D., Erbrink, H., Farokhi, A., Hagenaars, T., Hoek, G., Ogink, N., de Rooij, M., Smit, L., Winkel, A., Wouters, I. Risicomodellering veehouderij en gezondheid (RVG): modellering van regionale endotoxineconcentraties en relaties met gezondheidseffecten. Rapport IRAS UU 2019-01 / WBVR-1910304. Utrecht: Institute for Risk Assessment Sciences. Lelystad: Wageningen Bioveterinary Research.
- Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J., van Gijlswijk, R., Wichink Kruit, R., Segers, A., Denier van der Gon, H., Schaap, M. 2013. The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 69:289-303.
- IJzermans, C.J., Smit, L.A.M., Heederik, D.J.J., Hagenaars, T.J. 2018. Veehouderij en gezondheid omwonenden III: longontsteking in de nabijheid van geiten- en pluimveehouderijen; actualisering van gegevens uit huisartspraktijken 2014-2016. Utrecht: NIVEL.
- KWIN 2018-2019 Handboek 41, Kwantitatieve informatie Veehouderij 2019-2020. September 2019.
- Maassen, K., Smit, L., Wouters, I., van Duijkeren, E., Janse, I., Hagenaars, T., IJzermans, J., van der Hoek, W., Heederik, D. 2016. Rapport 2016-0058. Bilthoven, Nederland: RIVM.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, A. J. A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492. Lelystad: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Hol, J.M.G., 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*, Vol. X, December 2008. Manuscript BC 08 008.
- Rijksoverheid. 2018. Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij. Excelfile online gepubliceerd 15-03-2018. Online beschikbaar op: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2018/03/15/emissiefactoren-fijn-stof-voor-veehouderij-2018>.
- Rijksoverheid. 2019. Bijlage 1, bedoeld in artikel 2, eerste lid, van de Regeling ammoniak en veehouderij. Versie 26 april 2019. Online beschikbaar op: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2019-04-26#Bijlage1>.

-
- RIVM. 2019. Stations. Online beschikbaar op: <https://www.luchtmeetnet.nl/stations/alle-provincies/alle-gemeentes/alle-stoffen>
- Serutech-Agri en Optiklep. 2019. DUSTion, fijnstofreductie door ionisatie. Brochure. Online beschikbaar op: <https://www.serutech-agri.nl/wp-content/uploads/2019/10/DUSTion-product-informatie.pdf>
- VERA. 2018a. Vera test protocol for air cleaning technologies. Version 2:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VERA. 2018b. Vera test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VSN. 2018. GenStat reference manual (release 19). Hemel Hempstead, UK: VSN International Ltd.
- WHO. 2015. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Winkel, A., Emous, R.A. van, Kwikkel, R.K., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ionisatie bij leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 462. Lelystad: Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., J. Mosquera, J.W.H. Huis in't Veld, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op vleeskuikenbedrijven. Rapport 203. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Nijeboer, G.M., Huis in 't Veld, J.W.H., Ogink, N.W.M. 2013. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op leghennenbedrijven. Rapport 685. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Wouters, I.M., Aarnink, A.J.A., Heederik, D.J.J., Ogink, N.W.M. 2014. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader. Rapport 773. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Winkel, A., Llorens Rubio, J., Huis in 't Veld, J.W.H., Vonk, J.A., Ogink, N.W.M. 2015a. Equivalence testing of filter-based, beta-attenuation, TEOM, and light-scattering devices for measurement of PM₁₀ concentration in animal houses. *J. Aeros. Sci.* 80:11-26.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2015b. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 111:202-212.
- Winkel, A. 2016. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. PhD Thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University & Research.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Aarnink, A.J.A., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M. 2016. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosyst. Eng.* 150:104-122.
- Winkel, A. 2020. Berekening van een onzekerheidsmarge voor fijnstof reducerende technieken bemeten bij één in plaats van twee bedrijfslocaties. Wageningen Livestock Research, Report 1239.

Bijlage 1 Beschrijving stal

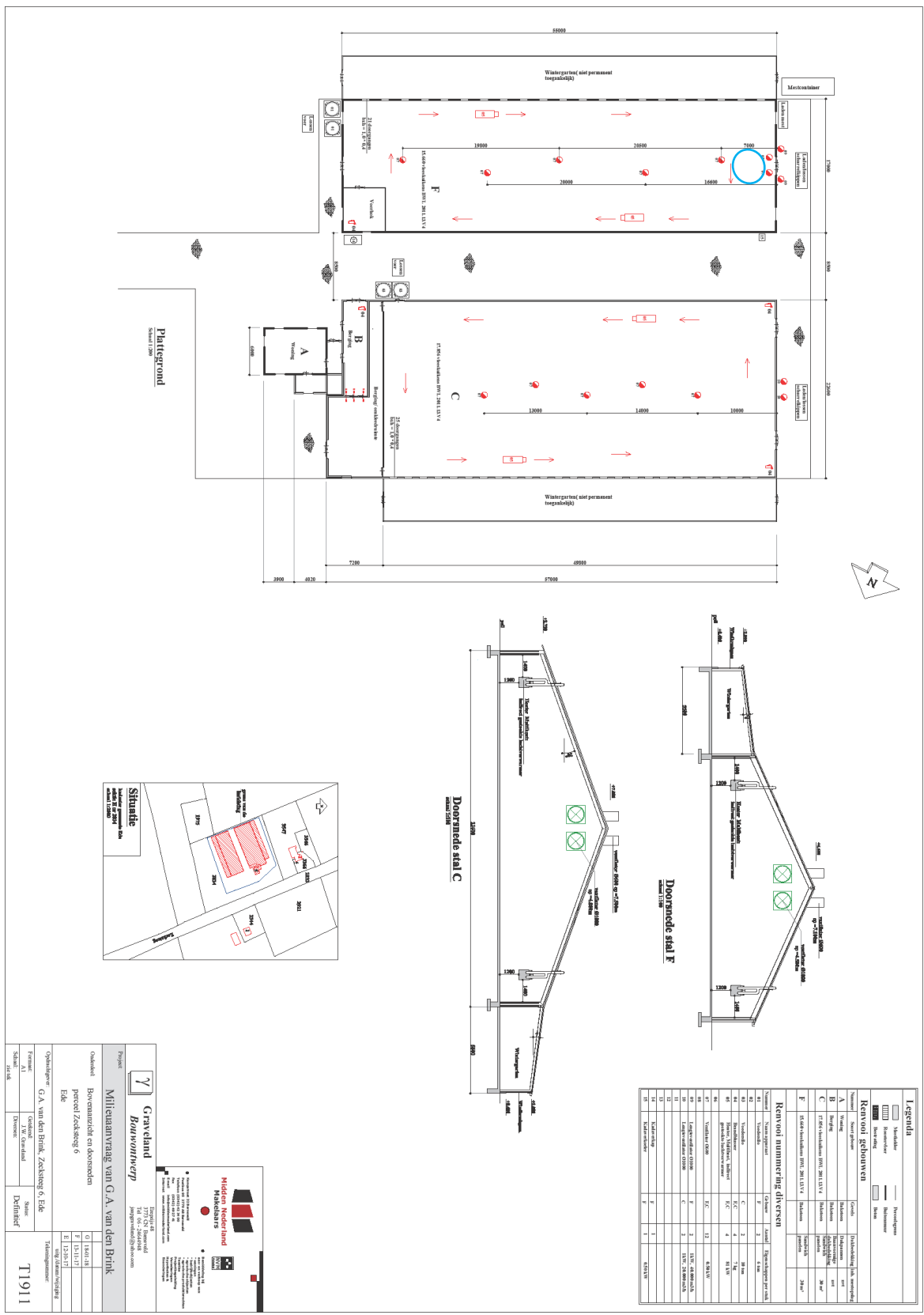
Kenmerk	Beschrijving
<i>Stal</i>	
Bouwjaar	2017 als vleeskuikenstal
Rav code en omschrijving	(aangevraagde situatie) E 5.14 vleeskuikenstal met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag (BWL 2011.13.V5)
Emissiefactoren	Emissie PM ₁₀ : 22 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,035 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,33 OUE/dierplaats per seconde
Afmetingen (l × b × h _{goot} /h _{nok})	45 × 16,5 × 2,5 × 5,7 m (binnenwerkse maten)
Oriëntatie van de stal	NOO (voorgevel) – ZWW (achtergevel met ventilatoren)
<i>Dieren</i>	
Aantal kuikens bij opzet	Ca. 11.000 met overdekte uitloop, ca. 8500 zonder uitloop
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 12,1 kuikens per m ² strooiselvloeroppervlak bij zonder uitloop
Merk kuiken	Hubbard
<i>Klimaatregeling</i>	
Beschrijving luchtinlaat	5 inlaatventilatoren (Ø 60 cm à 10.000 m ³ /uur) in de nok verdeeld over de lengte van de stal
Beschrijving luchtuitlaat	<ul style="list-style-type: none"> • 3 nokventilatoren (Ø 60 cm à 10.000 m³/uur), in de nok aan het eind van de stal • 2 grote v-snaarventilatoren (Ø 127 cm à 40.000 m³/uur), in de achtergevel van de stal
Ventilatieregeling	Totale ventilatiecapaciteit: ca. 110.000 m ³ /uur (ca. 10,0 m ³ /uur per kuiken) Mechanische in- en uitlaat ventilatie systeem op basis van staltemperatuur en gelijkdruk
Temperatuurinstellingen	Dag 0: 33 °C Dag 7: 30 °C Dag 14: 27 °C Dag 21: 24 °C Dag 28: 23 °C Dag 35: 22 °C Dag 42: 20 °C Dag 49: 20 °C Dag 56: 19 °C
Verwarmingssysteem	2 (indirect gestookte) Multiheat kachels
<i>Bedrijfsvoering</i>	
Beschrijving houderijsysteem	Grondhuisvesting
Beschrijving voersysteem	3 voerlijnen met voerpannen
Voertijden	Onbeperkt tijdens ca. 22 uur per dag waarna de pannen leeggegeten worden
Voer	Vleeskuikenvoer in drie fasen: Start: 18,5% Re / 4,8% Rv / 3,9% Rcs / 5,4% Ras Groei: 17,5% Re / 5,5% Rv / 3,6% Rcs / 4,9% Ras Eind: 17,3% Re / 6,4% Rv / 3,4% Rcs / 4,3% Ras
Beschrijving drinkwatersysteem	4 drinklijnen met nippels met lekschotelletjes
Drinktijden	Onbeperkt
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met houtkrullen
Beschrijving verlichting	LED-lampen 14 stuks
Lichtregime	16L:8D
Schoonmaakregime	Na elke ronde vindt reiniging plaats in 6 stappen: 1) schoonblazen heaters en voerbakken, 2) verwijderen mest, 3) inweken vloer en plafond, 4) inzepen voer-/waterlijnen, 5) schoonspuiten, 6) ontsmetting
<i>Productiecyclus</i>	
Leeftijd en gewicht bij ruimen	Na 8 weken wegladen. Wegladen op ca. 56 dagen en ca. 2400 gram
Leegstand tussen koppels	Ca. 1 week



Luchtfoto bedrijf. De pluimveestal waar is gemeten is de onderste stal.



Luchtfoto bedrijf met omgeving. De pluimveestal waar is gemeten licht in de blauwe cirkel.



Legend		Material	
Symbol	Description	Symbol	Description
[Symbol]	Structure	[Symbol]	Structure
[Symbol]	Structure	[Symbol]	Structure
[Symbol]	Structure	[Symbol]	Structure

Number	Material	Quantity	Unit
1	Structural steel	1	m
2	Structural steel	1	m
3	Structural steel	1	m
4	Structural steel	1	m
5	Structural steel	1	m
6	Structural steel	1	m
7	Structural steel	1	m
8	Structural steel	1	m
9	Structural steel	1	m
10	Structural steel	1	m
11	Structural steel	1	m
12	Structural steel	1	m
13	Structural steel	1	m
14	Structural steel	1	m
15	Structural steel	1	m
16	Structural steel	1	m
17	Structural steel	1	m

Tekening plattegrond en doorsnede stal. In de plattegrond is met een blauwe cirkel de plaats van de metingen aangegeven.



Voorraanzicht vleeskuikenstal (voorheen leghennenstal).



Achteraanzicht stal.



Zijaanzicht stal met aangebouwde overdekte uitloop (niet in gebruik tijdens metingen).



Twee coronadraden hangend onder plafond.

Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden

Onderdeel	Landbouwkundige voorwaarde (reguliere vleeskuikens):	Voldoet
Huisvesting	Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen.	Ja
	Vóór de meetperiode moet de stal minstens één ronde gebruikt zijn voor de huisvesting van vleeskuikens.	Ja
Strooisel	Materiaal: houtkrullen (0,6 – 1,5 kg/m ²), (gehakseld) tarwestrooisel (0,6 – 2,0 kg/m ²). Turf en snijmaissilage mogen niet worden toegepast.	Ja
Klimaat	De vleeskuikens worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.	Op één meetdag na
Voeding	De vleeskuikens krijgen een gangbaar voerschema (CVB) met minimaal 12,2 MJ omzetbare energie (OE in MJ/kg) in het voer. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine.	Ja (zie bijlage 1), deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie Ja, deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie
Water	Verstrekingsduur: onbeperkt tijdens de lichtperiode. Water/voerverhouding: 1,70 – 1,80 Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt welke een pH verlagend effect hebben, zoals bv. organische zuren.	Ja Nee Ja, dit heeft overigens geen effect op fijnstofemissie
Productie	De vleeskuikens dienen een eindgewicht te hebben van gemiddeld minimaal 2200 g op een leeftijd van maximaal 45 dagen.	Nee, metingen zijn uitgevoerd in stal met trager groeiende vleeskuikens
Gezondheid en hygiëne	De vleeskuikens krijgen standaard veterinaire zorg. Het uitvalspercentage mag niet hoger zijn dan [1% + (dagen leeftijd kuikens x 0,06%)] van het beginaantal.	Ja
Aantal dieren	De groepsgrootte bedraagt minimaal 1000	Ja
Registratie	Gedurende de ronde waarin de meting valt: - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal - totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling/stal - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting) - veterinaire behandeling op koppelniveau - technische resultaten - registratie van de voersamenstelling - CO ₂ -concentratie - drogestofgehalte strooiselmest (per meetdag een stalrepresentatief mengmonster - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen	Deels, via foto van de hokkaart en voerbonnen. Deze kengetallen hebben voor het merendeel geen effect op fijnstofemissie.

Bijlage 3 Overzicht alle meetdata

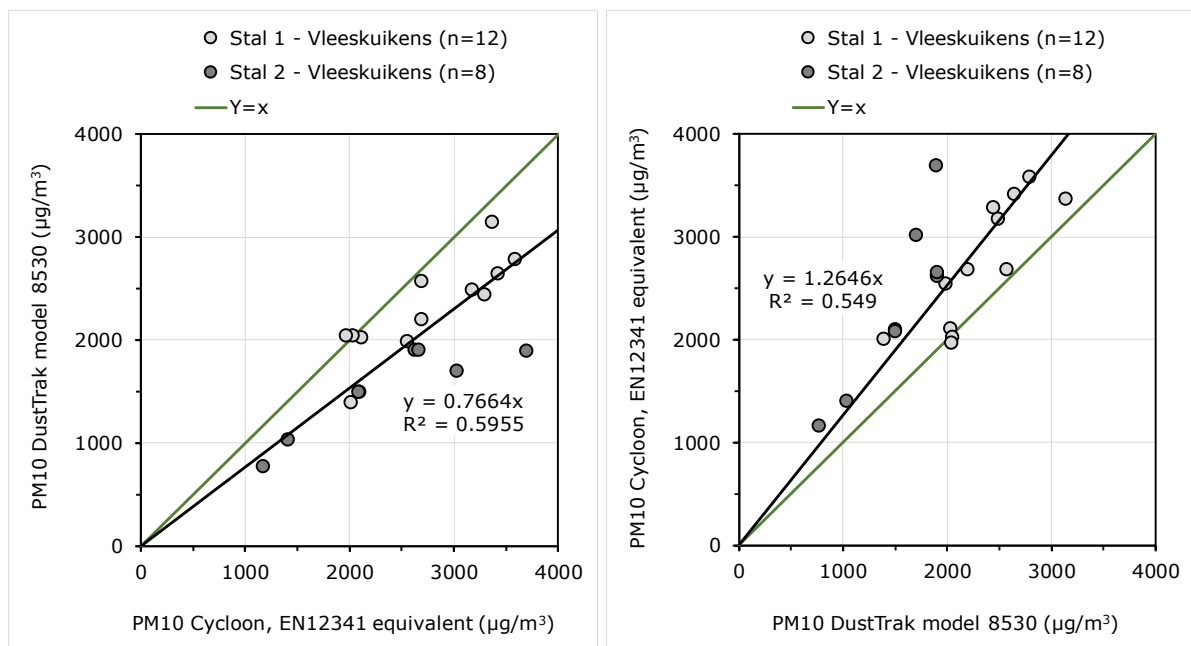
Variabele [eenheid]	METTING 1		METTING 2		METTING 3		METTING 4		METTING 5		METTING 6		METTING 7	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
Algemeen														
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	18-6-2018	21-6-2018	18-7-2018	23-7-2018	1-10-2018	4-10-2018	26-11-2018	29-11-2018	1-5-2019	30-4-2019	9-7-2019	10-7-2019	6-8-2019	7-8-2019
Tijd start meting [hh:mm]	10:16	10:00	10:20	10:10	10:55	10:10	10:35	10:35	10:00	9:00	9:30	10:00	10:30	15:00
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	19-6-2018	22-6-2018	19-7-2018	24-7-2018	2-10-2018	5-10-2018	27-11-2018	30-11-2018	2-5-2019	1-5-2019	10-7-2019	11-7-2019	7-8-2019	8-8-2019
Tijd einde meting [hh:mm]	10:16	10:00	10:20	10:10	10:30	10:30	10:35	11:00	10:00	9:00	9:30	10:00	10:30	15:00
Dagnummer in jaar [#]	169	172	199	204	274	277	330	333	121	120	190	191	218	219
Productiekengedaten														
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	4-5-2018	4-5-2018	6-7-2018	6-7-2018	6-9-2018	6-9-2018	9-11-2018	9-11-2018	22-3-2019	22-3-2019	24-5-2019	24-5-2019	26-7-2019	26-7-2019
Ras	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard	Hubbard
Dagnummer in productieronde	45	48	12	17	25	28	17	20	40	39	46	47	11	12
Aantal dieren geplaatst	8550	8550	8400	8400	8325	8325	8404	8404	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Aantal dieren aanwezig	8343	8336	8318	8314	8001	7984	8299	8298	10915	10917	10852	10846	10830	10828
Uitval cumulatief [%]	2,42	2,50	0,98	1,02	3,89	4,10	1,25	1,26	0,77	0,75	1,35	1,40	1,55	1,56
Diergewicht [g]	1704	1843	237	403	732	890	431	550	1612	1554	1873	1968	220	247
Voeropname [g/dier per dag]	108	144	175	200	75	85	63	81	131	126	147	150	34	37
Wateropname [mL/dier per dag]	228	234	234	318	125	135	88	101	205	213	227	225	45	50
Water/voer-verhouding	2,11	1,63	1,34	1,59	1,67	1,59	1,40	1,25	1,56	1,69	1,54	1,50	1,32	1,35
Buitenluchtcondities														
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	17,2	13,9	19,4	23,6	10,6	13,8	4,1	9,9	9,2	9,9	14,7	16,8	19,1	18,8
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	82	68	66	65	83	83	86	85	84	81	73	79	70	70
Windrichting (KNMI)	ZW, WZW	WNW, NW	W, NNW	NNW, NNW	NW, WZW	ZZW, ZZO	ONO, OZO	Z, ZZW	NNW, W	N, NNW	NNW, Z	Z, WZW	ZW, ZW	ZW, WZW
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	14,6	17,8	23,5	24,6	10,8	19,8	26,5	6,3	25,6	22,6	11,6	18,3	13,3	14,6
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	7,1	5,0	10,2	13,0	4,6	12,8	24,9	5,0	19,7	15,7	4,2	11,3	6,0	6,5
Stallicht en ventilatie														
Gem. luchttemperatuur [°C]	21,3	20,7	28,1	28,3	22,3	21,8	23,3	21,9	20,6	20,5	21,5	21,4	28,9	28,5
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	73	59	61	62	76	75	77	85	66	71	55	69	78	74
Gem. CO ₂ -concentratie [ppm]	1412	1724	1052	580	2544	1596	3355	2867	1759	2016	1152	1016	2867	2548
Ventilatiedebit [m³/h per dier]	2,90	2,35	1,02	5,52	0,73	1,51	0,35	0,51	2,07	1,69	4,18	5,30	0,26	0,32
Fijnstofconcentraties en -emissies														
Gem. concentratie PM10 [µg/m³]	638	2342	587	772	264	1098	104	980	883	1839	724	827	47	677
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m³]	1704		185		834		876		956		103		629	
Concentratiereductie PM10 rel. [%]	73		24		76		89		52		12		93	
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	15,8	47,8	5,0	36,1	1,6	14,2	0,2	4,3	15,5	26,9	26,1	37,5	0,1	1,9
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]	32,0		31,1		12,6		4,1		11,4		11,4		1,8	
Emissiereductie PM10 rel. [%]		67		86		89		94		42		30		96

Bijlage 4 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530

De relatie tussen de PM₁₀ concentratie bepaald met de DustTrak en de gravimetrische methode voor PM₁₀ zoals die in gebruik is bij Wageningen Livestock Research is bepaald door in twee verschillende vleeskuikenstallen simultane metingen (n=20) uit te voeren met beide methoden naast elkaar. Van de twee methoden is de gravimetrische methode equivalent aan de PM₁₀ referentiesampler in EN 12341:2014 (CEN, 2014).

In onderstaande figuren zijn de relaties tussen beide meetmethoden weergegeven. In de linker figuur is de equivalente methode op de x-as geplaatst en de DustTrak model 8530 op de Y-as. Uit de linker figuur blijkt dat de puntenwolk en de bijbehorende regressielijn onder de groene Y=x lijn ligt. Dit betekent dat de DustTrak de werkelijke concentratie onderschat.

In de rechter figuur is vervolgens de DustTrak model 8530 op de x-as geplaatst en de equivalente methode op de Y-as. In de bijbehorende regressiefunctie $Y=1,2646x$ is nu x de DustTrak concentratie. Wil men de DustTrak concentratie x omrekenen naar de werkelijke concentratie Y, dan moet die concentratie x vermenigvuldigd worden met de factor 1,2646 of afgerond **1,26**.



Bijlage 5 Kalibratie meetapparatuur

Fijnstof-analyse PM₁₀

DustTrak Aerosol Monitor Model 8520 en DustTrak II Aerosol Monitor Model 8530.

Alle gebruikte instrumenten hebben een recent certificaat van de leverancier. Na iedere stalmeting van ruim 2 x 24 uur zijn de instrumenten van buiten en binnen goed schoon gemaakt en indien nodig weer van een nieuw filter voorzien. Dit laatste geeft het instrument zelf aan.

Vervolgens hebben de instrumenten in het luchtlaboratorium gedurende enkele dagen in de zogenaamde survey-mode gedraaid. Hierbij wordt het instrument gespoeld met de relatief schone omgevingslucht. Middels een 'nul-filter' is gecontroleerd of de zero-waarde moest worden aangepast. Bij model 8520 werd voor iedere meting de nieuwe nul-waarde ingevoerd. Bij model 8530 is het nullen van het toestel lastiger en is gekozen om de actuele nulwaarden te noteren en later, tijdens de gegevensverwerking voor de hogere nulwaarde te corrigeren. Na circa 3 dagen spoelen zijn de instrumenten uitgezet en klaargezet voor de volgende metingen.

De instrumenten worden jaarlijks teruggestuurd naar de leverancier voor onderhoud en justeren, gekoppeld aan een nieuw certificaat. Als op basis van de verkregen ruwe data blijkt dat de instrumenten niet betrouwbaar zijn, worden deze geëxcludeerd van de dataset voor verdere bewerking. Door een meettechnicus wordt vervolgens beoordeeld of het instrument moet worden opgestuurd voor justering. Bij herhaling van onbetrouwbare data bij een volgende meting zal het instrument zeker opgestuurd worden.

CO₂-analyse

Testo type 435 met IAQ-probe voor CO₂ en Vaisala CO₂-sensor met Carbon Dioxide Probe GMP252.

De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier. Voordat de instrumenten in het onderzoek werden ingezet zijn ze geijkt in het eigen luchtlaboratorium. Middels het aanbieden van een verdunningsreeks CO₂-kalibratiegas is de ijklijn van ieder instrument vastgesteld.

De Testo werd op een gegeven ogenblik instabiel en is daarna, na een gezamenlijke overbruggingsperiode, vervangen door de Vaisala-sensoren. De Vaisala-sensoren hebben geen eigen opslaggeheugen en zijn daardoor ingezet in combinatie met Koenders dataloggers.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Escort RH iLogger EI-HS-D-32-L.

De logger staat ingesteld op een meetfrequentie van 2 minuten. Na iedere meting wordt het instrument goed schoongemaakt. Vervolgens komt het in een houder te liggen samen met enkele andere sensoren. Hierdoor kan een mogelijke afwijking worden vastgesteld. Deze loggers zijn niet recentelijk geijkt. Ze worden daarom slechts gebruikt ter indicatie van de meetomstandigheden.

Temperatuurbereik: -40°C tot +70°C

Luchtvochtigheidsbereik: 0-100%RH

Nauwkeurigheid:

± 0.35°C (van -40°C tot 0°C)

± 0.25°C (van 0°C tot +70°C)

Luchtvochtigheid ± 3%

Bijlage 6 Concept BWL-beschrijving

Let op! Dit is een concept ten tijde van publicatie van dit rapport.

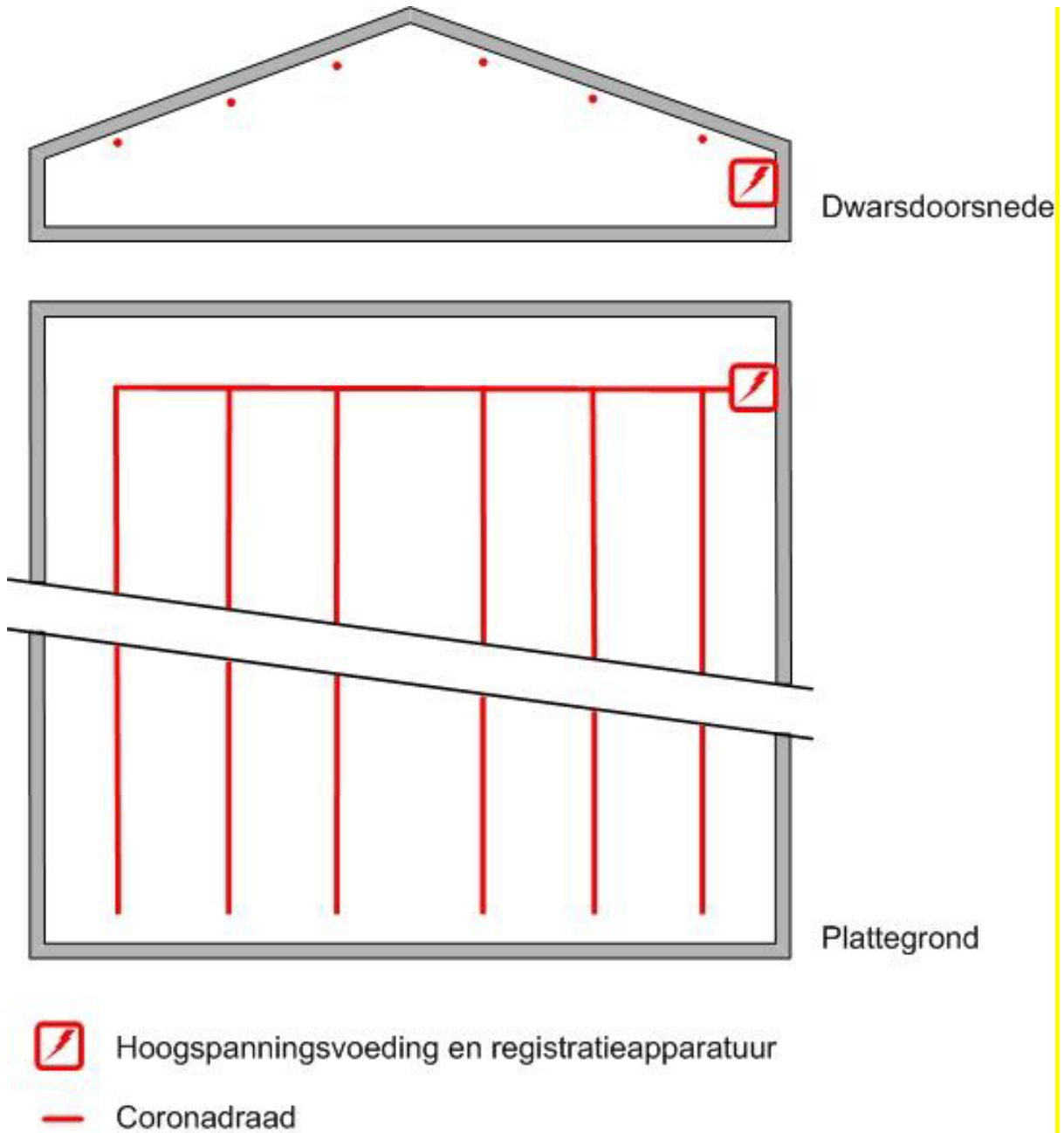
Nummer systeem	BWL 2019.XX	
Naam systeem	Negatieve ionisatie d.m.v. coronadraden met 40 emitters per meter (prikeldraad); nn% reductie fijnstof (PM₁₀)	
Diercategorie	Additionele technieken voor emissiereductie van fijn stof bij pluimvee; ?? (categorieën uit Rav nog toevoegen)	
Systeembeschrijving van	XXX 2019	
Werkingsprincipe	De emissie van fijn stof (PM ₁₀) wordt beperkt door middel van het geven van een negatieve lading aan de stofdeeltjes in de stal. Hiervoor wordt in de stal een ionisatiesysteem met coronadraden met 40 emitters per strekkende meter aangebracht dat negatieve ionen verspreid. Door de negatieve lading hechten de stofdeeltjes zich aan gearde materialen in de stal.	
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; BOUWKUNDIG		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
1	Eisen volgens beschrijving waarmee systeem wordt gecombineerd.	
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; TECHNISCHE VOORZIENINGEN		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
2	Huisvestingsvorm	Afhankelijk van diercategorie en huisvestingssysteem
3a	Ionisatiesysteem	De coronadraden zijn gelijkmatig verdeeld onder het plafond aangebracht, in de lengterichting van de stal.
3b		Per m ² leefoppervlak is minimaal 0,58 m coronadraad geïnstalleerd.
3c		Per strekkende meter coronadraad zijn minimaal 40 emitters aanwezig, die gezamenlijk in alle richtingen wijzen, in een hoek van 90° ten opzichte van de lengterichting van de draad.
3d		De afstand tussen de coronadraden en het plafond is maximaal 40 cm.
3e		De coronadraden zijn aangesloten op een door leverancier geleverd voedingsapparaat.
3f		Het maximale vermogen vanuit het voedingsapparaat is 1 mA per 150 meter draad.
4	Bekleding isolatieplaten dak	De bekleding van de plafondplaten aan de stalzijde bestaat uit te aarden materiaal.
5	Aarding	Plafondplaten en stalinventaris worden indien nodig geaard om opbouw van elektrostatische spanningen te voorkomen en stofaccumulatie te bevorderen.

6	Registratieapparatuur	De volgende registratieapparatuur dient aanwezig te zijn: <ul style="list-style-type: none"> - apparatuur voor het registreren van het in gebruik zijn van het ionisatiesysteem (bijvoorbeeld urenteller, (k)Wh-meter) - apparatuur voor het registreren van de instellingen van de regeling van de ionisatieapparatuur
HET GEBRUIK VAN HET SYSTEEM		
	Onderdeel	Gebruikseis
a	Leefoppervlak	Aantal dieren/m ² leefoppervlak volgens beschrijving waarmee systeem wordt gecombineerd.
b	Ionisatie	Uitgestuurde voltage naar de units bedraagt -30 kV (gelijkspanning).
		Uitgestuurde mA naar de coronadraden is minimaal 1 mA per 150 meter coronadraad.
		Ionisatie vanaf 0 dagen leeftijd ⁵
c	Beveiliging	Het systeem is beveiligd t.a.v. interne storingen en overbelasting (te hoge stroomsterkte door o.a. aanraken).
d	Reiniging	Na elke ronde worden wanden, plafonds en objecten gereinigd van het aangehechte stof.
e	Onderhoudscontract	Het afsluiten van een onderhoudscontract met de leverancier of een andere deskundige partij wordt sterk aanbevolen ⁶ . In het onderhoudscontract zou een jaarlijkse controle en onderhoud van het ionisatiesysteem moeten zijn opgenomen. Verder zijn in dit contract de taken van de leverancier/deskundige partij opgenomen.
f	Registratie	Ten behoeve van een controle op de werking van het systeem moeten de volgende gegevens automatisch worden geregistreerd: <ul style="list-style-type: none"> - het uitgestuurde voltage; - het uitgestuurde amperage. Van de geregistreerde waarden moet tijdens de controle een uitdraai van de huidige en vorige productieperiode opvraagbaar zijn.
Werkingsresultaat		
		Emissiereductie fijnstof (PM ₁₀) van nn% ten opzichte van de emissiefactor van het stalsysteem waarmee het wordt gecombineerd.
Verwijzing meetrapport		
		Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: DUSTion systeem van Serutech-Agri/Optiklep (edepotnr toevoegen)

⁵ Bij de systemen waar eieren worden uitgedroefd in de stal en daarna de kuikens in dezelfde stal worden opgefokt tot een bepaalde leeftijd (categorieën E 5.9.1.1 en E 5.9.1.2), de ionisatie inschakelen bij overplaatsen naar de vervolghuisvesting.

⁶ Een onderhoudscontract is een goed middel om te voorkomen dat de gebruiker problemen krijgt bij het afleggen van een verantwoording bij de handhaving.

Principeschets ionisatiesysteem met negatieve coronadraden



Naam: Negatieve ionisatie d.m.v. coronadraden met 40 emitters per meter (prikeldraad); nn% reductie fijnstof (PM ₁₀)	Nummer: BWL 2019.XX Systembeschrijving: XXX 2019
--	---

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 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.

